



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE FACIOLÓGICA DA FORMAÇÃO CODÓ (APTIANO/ALBIANO),  
BACIA DO PARNAÍBA

MARCELO DA SILVA MENDES

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO  
OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA ESTÁGIO DE CAMPO-IV

*TEMA VINCULADO AO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM  
GEOLOGIA DO PETRÓLEO (CONVÊNIO PRH-ANP/MCT Nº 18)*

RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL  
MARÇO DE 2005

ANÁLISE FACIOLÓGICA DA FORMAÇÃO CODÓ (APTIANO/ALBIANO) NA BACIA  
DO PARNAÍBA

MARCELO DA SILVA MENDES

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO  
OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA ESTÁGIO DE CAMPO-IV.

SETOR: PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA

ORIENTADOR: LEONARDO BORGHI

APROVADA POR:

---

CLÁUDIO BETTINI, UFRJ

---

CARLOS JORGE ABREU, UFRJ

---

LEONARDO BORGHI, UFRJ

RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL

MARÇO DE 2005

MENDES, Marcelo da Silva

Análise faciológica da formação codó (aptiano / albian) na bacia do Parnaíba.[Rio de Janeiro] 2005.

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no Instituto de Geociências.

1.Formação Codó. 2.Geologia do Petróleo.

II – IGEO/UFRJ

II – Título (série)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Apresentação	1
1.2	Objetivos e finalidade	3
1.3	Material e método	3
<b>2</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO</b>	<b>6</b>
2.1	Generalidades	6
2.2	Embasamento	7
2.3	A estratigrafia da bacia do Parnaíba (Góes <i>et al.</i> , 1994)	8
2.4	Tectônica e sedimentação (Góes <i>et al.</i> , 1990)	12
2.5	Evidências de tectonismo na sedimentação Cretácea	14
<b>3</b>	<b>A FORMAÇÃO CODÓ</b>	<b>17</b>
3.1	Aspectos litoestratigráficos e de sedimentação	17
3.2	Geocronologia	18
3.3	Distribuição e Espessura	19
3.4	Fósseis	20
3.5	Paleogeografia	21
3.6	Geologia do Petróleo	23
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTOS CONCEITUAIS</b>	<b>25</b>
4.1	Fácies	25
4.2	Superfície de Inundação Máxima	26
4.3	Superfície transgressiva	26
4.4	Superfície discordante	27
4.5	Regressão forçada	27
<b>5</b>	<b>ANÁLISE FACIOLÓGICA</b>	<b>29</b>
5.1	Fácies	29

		V
5.1.1	FÁCIES Fe	30
5.1.2	FÁCIES Fp	31
5.1.3	FÁCIES Sc	34
5.1.4	FÁCIES Ao	34
5.1.5	FÁCIES Ac	37
5.1.6	FÁCIES Ac(c)	38
5.1.7	FÁCIES cA	38
5.1.8	FÁCIES C	42
5.1.9	FÁCIES G	43
5.1.10	FÁCIES B	43
5.1.11	FÁCIES cL	47
5.1.12	FÁCIES cS	47
<b>5.2</b>	<b>Sucessão de fácies</b>	<b>50</b>
5.2.1	SUCESSÃO DE FÁCIES 1 (SF1) – lacustre marginal hipersalino	50
5.2.2	SUCESSÃO DE FÁCIES 2 (SF2) – lacustre hipersalino	50
5.2.3	SUCESSÃO DE FÁCIES 3 (SF3) – sabkha	54
5.2.4	SUCESSÃO DE FÁCIES 4 (SF4) – fluvial	54
5.2.5	SUCESSÃO DE FÁCIES 5 (SF5) – lacustre central	57
5.2.6	SUCESSÃO DE FÁCIES 6 (SF6) – lacustre marginal	57
<b>6</b>	<b>ANÁLISE GEOLÓGICA</b>	<b>61</b>
<b>6.1</b>	<b>Superfícies estratigráficas</b>	<b>61</b>
<b>6.2</b>	<b>Sistemas petrolíferos</b>	<b>65</b>
6.2.1	GERADORES POTENCIAIS	65
6.2.2	RESERVATÓRIOS POTENCIAIS	65
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>67</b>

## ANEXOS

**Anexo A – Perfil estratigráfico do poço 1-UN-24-PI**

**Anexo B – Perfil estratigráfico do poço 1-UN-32-PI**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço às pessoas que me acompanharam e ajudaram nessa jornada, portanto, aos meus pais, Acioli e Estela, à minha irmã, Nadieza, por todo o incentivo e apoio, fundamentais para que este sonho virasse realidade.

Ao meu orientador e amigo Leonardo “Chico Xavier” Borghi, que em todos os momentos demonstrou paciência para transmitir suas instruções e por oferecer todos recursos necessários para que trabalho se desenvolvesse.

À Daniely Maciel Carneiro, a quem sempre que precisei, estive ao meu lado incentivando, para que eu fizesse a melhor escolha das atitudes a serem tomadas.

Aos meus amigos de faculdade que fizeram de todos os momentos, os mais divertidos e inesquecíveis destes anos, além do incentivo e companherismo nesta etapa que ultrapassamos juntos, em especial Anselmo “Índia Velha”, Potó, Cauê, Cisso, Fabiano “Mestre”, Murissoca, Afobado, Stutz, Hatushika, Leandro “Bico Bico”, Gordo, Matoso, Thaís, Regis, Chapinha, Mauro, Charles, Ana Paula, Giselle, Priscila, Rogerinho e Gustavo “Nerd”.

Quero desejar com profundo carinho, que meus amigos Max e Vívian tenham bastante sucesso neste caminho que pretendemos empreitar e que nos reencontremos no futuro.

Ao Programa de Recursos Humanos em geologia de Petróleo da UFRJ (PRH-18), ao professor Cláudio Bettini, coordenador de 2000 à 2003, pelo financiamento que permitiu este estudo.

Ao 4º Distrito do DNPM, Recife/PE, por ceder os testemunhos para descrição.

Ao TRO/CENPES/Petrobras, pelas análises de permeabilidade das amostras amostras selecionadas.

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED), por oferecer em suas novas dependências, condições suficientes para que tudo ocorresse sem maiores dificuldades.

E a natureza, que desperta a curiosidade e imaginação dos geólogos e fazem desta profissão a mais interessante dentre outras, onde o aprendizado está no prazer de se observar e admirar os cenários naturais.

RESUMO DA MONOGRAFIA APRESENTADA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA “TRABALHO FINAL DE CURSO”

ANÁLISE FACIOLÓGICA DA FORMAÇÃO CODÓ (APTIANO/ALBIANO)  
NA BACIA DO PARNAÍBA

MARCELO DA SILVA MENDES

RIO DE JANEIRO, FEVEREIRO DE 2005

ORIENTADOR: LEONARDO BORGHI

SETOR: SETOR DE PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA

O presente trabalho trata da análise faciológica da formação Codó (Neoptiano) na Bacia do Parnaíba, realizada nos testemunhos de sondagem dos poços 1-UN-24-PI, 1-UN-32-PI (DNPM/CPRM, *Projeto Carvão*, 1975), a oeste de Coelho Neto-MA, com objetivo de interpretar sistemas deposicionais e identificar superfícies para correlação. A finalidade deste estudo é avaliar não só todo o contexto tectono-sedimentar, mas também os parâmetros geológicos de potenciais rochas-geradoras na formação, além da construção de um modelo análogo para bacias de fronteiras exploratórias. Para a sucessão de fácies descrita foi possível identificar um paleoambiente predominantemente lacustre redutor, evaporítico e hipersalino, segmentado em três associações de fácies: Lago central, transicional e marginal, conforme descrito por (Rossetti & Góes, *in* Rossetti *et al.*, O Cretáceo na Bacia de São Luiz-Grajaú, p.77 - 99, 2000). A associação de fácies desta formação em conjunto com a superior (Formação Itapecurú), revela um potencial sistema petrolífero (gerador/Reservatório).

**Palavras chaves:** Fácies, Formação Codó, Lacustre.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b>	<i>Mapa de localização da bacia do Parnaíba, onde as rochas mesozóicas e cenozóicas encontram-se compartimentadas pelos limites da bacia do Grajaú, a noroeste da bacia do Parnaíba (Sardenberg et al., 2004).</i>	2
<b>Figura 1.2.</b>	<i>Mapa de localização dos poços testemunhados 1-UN-24-PI (03°15'24"/42°56'47") e 1-UN-32-PI (04°04'55"/43°03'15") das etapas II e III do Projeto Carvão da bacia do Parnaíba, DNPM/CPRM 1975 (Mod. da Quarta Rodada de Licitações da ANP, 2002).</i>	5
<b>Figura 2.1.</b>	<i>Mapa mostrando os limites geológicos das bacias do Parnaíba, São Luís e Grajaú.</i>	8
<b>Figura 2.2.</b>	<i>Carta cronoestratigráfica da bacia do Parnaíba (ANP, 2002).</i>	10
<b>Figura 2.3.</b>	<i>Seção geológica das seqüências A, D e C-T da Bacia do Parnaíba (ANP, 2000), exibindo a tectônica sobre a sedimentação.</i>	13
<b>Figura 2.4.</b>	<i>Distribuição dos elementos estruturais que definem os lineamentos transbrasilianos e Picos-Santa Inês (Fortes, 1978).</i>	14
<b>Figura 3.1.</b>	<i>Mapa de isópacas da formação codó, onde cada ponto preto representa um poço perfurado no Projeto Carvão, 1975. O ponto vermelho superior representa o poço 1-UN-24-PI e o inferior o poço 1-UN-32-PI.</i>	19
<b>Figura 3.2.</b>	<i>Distribuição bioestratigráfica dos animais fósseis da bacia do Parnaíba (Santos, 1992).</i>	21
<b>Figura 3.3.</b>	<i>Reconstrução paleogeográfica e paleobiológica da formação Codó na bacia do Parnaíba.</i>	22
<b>Figura 3.4.</b>	<i>Seqüência cretácea no poço 1-CI-1-MA, onde observa-se a divisão de 5 intervalos na formação (Rodrigues, 1995).</i>	24
<b>Figura 4.1.</b>	<i>Modelo esquemático de regressões forçadas. Em (a) e (b) temos regressão normal em dois contextos diferentes (nível do mar estático e nível do mar subindo). Em (c) temos uma regressão forçada ocasionada por uma queda brusca do nível do mar (mod. Posamentier et al., 1992).</i>	28
<b>Figura 5.1.</b>	<i>Bloco diagrama representativo do ambiente deposicional da Formação Codó (modificado de Batista, 1992), mostrando a contextualização dos poços descritos neste trabalho em relação às sucessões de fácies (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5 e SF6).</i>	58
<b>Figura 5.2.</b>	<i>Análogo recente localizado no golfo do México (Martin Miler, University of Oregon).</i>	58



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1.</b>	<i>Síntese de estruturas deformacionais que ocorrem nos depósitos cretáceos da Bacia São Luis-Grajaú (Rossetti et l., 2001).</i>	15
<b>Quadro 5.1.</b>	<i>Resumo das fácies analisadas.</i>	29
<b>Quadro 5.2.</b>	<i>Resumo das sucessões de fácies analisadas.</i>	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 5.1.</b>	<i>Dados petrofísicos da fácies Ao.</i>	37
<b>Tabela 5.2.</b>	<i>Dados petrofísicos da fácies Ac.</i>	38

## LISTA DE ESTAMPAS

### ESTAMPA I – Fácies Fe

*Figura A - Aspecto da fácies Fe, exibindo folhelho betuminoso laminado com uma intercalação de uma lâmina de carbonato. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 151,90m.*

*Figura B - Aspecto da fácies Fe, exibindo folhelho interlaminado com carbonatos e gipsita. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 118,60m.*

*Figura C - Aspecto da fácies Fe, exibindo folhelho betuminoso interlaminado com carbonatos, dobras convolutas, além de estruturas de falhas e fraturas preenchidas por anidrita. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 118,00m.*

*Figura D - Aspecto da fácies Fe, exibindo pseudomorfos de anidrita. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 175,00m.*

### ESTAMPA II – Fácies Fp

*Figura A - Aspecto da fácies Fp, exibindo folhelho com pouca fissilidade devido a interlacinação de carbonatos. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 74,00m.*

*Figura B - Aspecto da fácies Fp, exibindo maior fissilidade pela baixa concentração de carbonatos. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 98,80 m.*

*Figura C - Aspecto da fácies Fp, exibindo macrofóssil (gastrópode). Poço 1-UN-32-PI, profundidade 90,20m.*

*Figura D - Aspecto da fácies Fp, exibindo concentração de conchas de ostracodes fóssil. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 125,40m.*

### ESTAMPA III – Fácies Sc

*Figura A - Aspecto da fácies Sc, exibindo interlaminação de siltito com arenito fino e gretas de ressecamento. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 157,80 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies Sc, exibindo greta de ressecamento em vista de topo. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 157,80 m*

*Figura C - Aspecto da fácies Sc, exibindo interlaminação de siltito e arenito muito fino com greta de ressecamento. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 157,80 m*

### ESTAMPA IV – Fácies Ao

*Figura A - Aspecto da fácies Ao, exibindo acamamento flaser e detrito de matéria orgânica. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 164,40 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies Ao, exibindo laminação cruzada por onda e acamamento flaser. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 186,60 m.*

*Figura C – Aspecto em lâmina petrográfica da fácies Ao, exibindo laminação com Drap de lamainterlaminado a intervalos de fluxo mais trativo.. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 113,80 m.*

### ESTAMPA V – Fácies Ac

*Figura A - Aspecto da fácies Ac, exibindo laminação cruzada deformada pela fluidização. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 105,70 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies Ac, exibindo estrutura deformacional convoluta, provocada pela escape de fluidos. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 74,50 m.*

*Figura C - Aspecto da fácies Ac, exibindo laminação cruzada mascarada pela fluidização. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 111,30 m.*

*Figura D - Aspecto em lâmina petrográfica da fácies Ac (nícóis x), exibindo grãos de quartzo cimentados por calcita espática. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 79 m.*

### **ESTAMPA VI – Fácies Ac(c)**

*Figura A - Aspecto da fácies Ac(c), exibindo laminação cruzada cavalgante no topo, notar o intervalo médio em que o acamamento wavy encontra-se com médio grau de bioturbação. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 110,60 m..*

*Figura B - Aspecto da fácies Ac(c), exibindo laminação cruzada cavalgante, sendo possível notar a interlaminação de arenito fino superior. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 130,60 m.*

*Figura C - Aspecto da fácies Ac(c), exibindo acamamento wavy, bioturbação de baixa a moderada e laminação cruzada cavalgante no topo. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 64,60 m.*

### **ESTAMPA VII – Fácies cA**

*Figura A – Aspecto da fácies cA, exibindo a interlaminação de pelito com ostracodito, notar o caráter rítmico desta fácies pela variação das cores claras e escuras. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 147,55 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies cA, exibindo aproximação da lâmina constituída por conchas de ostracodites. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 127,60 m.*

### **ESTAMPA VIII – Fácies C**

*Figura A - Aspecto da fácies C, exibindo conglomerado matriz suportado, notar o fragmento subarredondado de calcita no centro e um grânulo lítico na base. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 140,10m.*

*Figura B - Aspecto em lâmina petrográfica da fácies C, exibindo grãos de calcissiltito, quartzo, fragmentos líticos e carbonatos, notar no centro da foto a presença de um grão de arenito bem cimentado por quartzo. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 139,40 m.*

*Figura C - Aspecto em lâmina petrográfica da fácies C, exibindo detalhe de um grão de calcilutito recristalizado substituindo os fragmentos de gipsita inclusos na matriz. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 139,40 m.*

*Figura D – Aspecto em lâmina petrográfica da fácies C, exibindo detalhe de um grão de granófiro (Quartzo + K-feldspato) com porosidade intragranular. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 139,40 m.*

### **ESTAMPA IX – Fácies G**

*Figura A - Aspecto da fácies G, exibindo gipsita recristalizada com estruturas de dente-de- cão. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 146,30 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies G, exibindo gipsita recristalizada com estrutura de roseta, conforme o círculo em vermelho. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 143,00 m*

*Figura C - Aspecto da fácies G, exibindo gipsita inter laminada com pelito da fácies Fe. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 123,60 m*

*Figura D – Aspecto em lâmina petrográfica da fácies G, exibindo os ciclos de crescimento dos cristais de gipsita. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 122,00 m.*

## **ESTAMPA X – Fácies B**

*Figura A - Aspecto da fácies B, exibindo brecha intraformacional composta por fragmentos de pelitos verticalizados. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 156,00 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies B, exibindo brecha intraformacional composta por fragmentos de pelitos com cimentação de anidrita e carbonatos. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 156,00 m.*

## **ESTAMPA XI – Fácies cL**

*Figura A - Aspecto da fácies cL, exibindo calcilito com “vugs” preenchidos por anidrita. Esta estrutura indica exposição subaérea. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 141,30 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies cL, exibindo estrutura flaser em meio as lâminas de calcilito. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 163,80 m.*

*Figura C - Aspecto da fácies cL, exibindo estrutura de vênulas de anidrita. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 115,00 m.*

## **ESTAMPA XII – Fácies cS**

*Figura A - Aspecto da fácies cS, exibindo calcissiltito interlaminação com pelitos e estrutura de greta de ressecamento. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 134,30 m.*

*Figura B - Aspecto da fácies cS, exibindo calcissiltito interlaminação com pelitos e estrutura de greta de dastase. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 134,45 m*

## **ESTAMPA XIII – Sucessão de fácies 1**

*Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 1 (SF1) no poço 1-UN-32-PI, caixa 28. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

*Figura B - Aspecto da sucessão de fácies 1 (SF1) no poço 1-UN-24-PI, caixa 26. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

## **ESTAMPA XIV – Sucessão de fáceis 2**

*Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 2 (SF2) no poço 1-UN-32-PI, caixa 26 que inclui a fácies B. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

*Figura B - Aspecto da sucessão de fácies 2 (SF2) no poço 1-UN-24-PI, caixa 25. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

## **ESTAMPA XV – Sucessão de fácies 3**

*Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 3 (SF3) no poço 1-UN-24-PI, caixas 19 e 20. A seta vermelha marca a base da sucessão e a azul, o topo. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

## **ESTAMPA XVI – Sucessão de fácies 4**

*Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 4 (SF4) no poço 1-UN-24-PI, caixas 18 e 19. A seta vermelha marca a base da sucessão e a superfície discordante (LS), enquanto que a azul marca o topo e a superfície transgressiva (ST). (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

## **ESTAMPA XVII – Sucessão de fácies 5**

*Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 5 (SF5) no poço 1-UN-32-PI, caixa 14. A seta verde identifica o nível de concentração de Gastrópodes. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

*Figura B - Aspecto da sucessão de fácies 5 (SF5) no poço 1-UN-24-PI, caixa 17. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

## **ESTAMPA XVIII – Sucessão de fácies 6**

*Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 6 (SF6) no poço 1-UN-24-PI, caixas 13,14 e 15. A seta vermelha marca a base da sucessão e a azul, o topo. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

## **ESTAMPA XIX – Superfície de inundação**

*Figura A – Superfície de inundação máxima (SIM) no poço 1-UN-32-PI. A seta vermelha marca a SIM na base do poço, na profundidade de 143,50 m. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

*Figura B – Superfície de inundação máxima (SIM) no poço 1-UN-32-PI. A seta azul marca a SIM no topo do base da sucessão, na profundidade de 107,00 m. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).*

## **ESTAMPA XX – Correlação entre os poços estudados**

*Figura A – Para a correlação entre os poços, a superfície transgressiva (ST) foi utilizada como datum. Foram identificadas duas superfícies de inundação máxima (SIM), uma na base e outra no topo dos poços estudados, entre tais superfícies foi reconhecida uma superfície discordante que foi atribuída a um limite de sequências (LS). Podemos identificar ciclos transgressivos e regressivos que se alternam até o topo, onde é possível identificar uma regressão forçada marcada pelos pequenos pulsos transgressivos que se repetem.*

## SÍMBOLOS

CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
LS	Limite de seqüência
SD	Superfície discordante
SF1 a 6	Sucessões de fácies 1 a 6
SIM	Superfície de inundação máxima
ST	Superfície transgressiva

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

A bacia do Parnaíba é uma extensa bacia intracratônica localizada na região nordeste ocidental brasileira entre as faixas de dobramentos que bordejam os crátons do Guaporé, São Luís e São Francisco. São preenchidas principalmente por rochas paleozóicas, de maior representatividade, e rochas mesozóicas e cenozóicas que ocorrem mais restritamente a noroeste da bacia (Figura 1.1).

O interesse para exploração em hidrocarbonetos na Bacia do Parnaíba, teve início com os primeiros trabalhos direcionados a esta atividade na década de 1950, com o Conselho Nacional do Petróleo (CNP). Três anos mais tarde, com a criação da Petrobras, iniciou-se uma nova fase de trabalhos exploratórios na bacia, com a perfuração de 26 poços exploratórios e levantamento sísmico, onde se encontrou algum vestígio de óleo e gás. Em 1988 a Petrobras retomou esforços exploratórios com o levantamento e reinterpretação dos dados disponíveis, gerando um plano global de exploração que resultou na descoberta de uma acumulação subcomercial de gás, através do poço 2-CP-1-MA.

Com as crescentes descobertas de hidrocarbonetos nas bacias marginais marinhas, os investimentos passaram a ser direcionados para áreas de maiores probabilidades de sucesso; o que se fazia necessário face às necessidades de consumo do país. Deste modo, as bacias terrestres deixaram de ser avaliadas de forma sistemática.

Com a criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP) em 1997, a ela foi passada a incumbência de fomento da exploração petrolífera no país. Os trabalhos iniciariam-se a partir do ano corrente, tendo sido organizados para execução no decorrer da próxima década, visando fornecer à indústria informações geológicas e geofísicas necessárias à avaliação do potencial petrolífero nas bacias terrestres e áreas de novas fronteiras. Assim, em junho de 2002 a ANP ofereceu um bloco em sua IV Rodada de Licitações, sem qualquer sucesso de investimento. Sendo assim a Superintendência de Definição de Blocos da ANP (ARAÚJO, 2003) atentou em seu plano decenal à necessidade de estudos geológicos, geofísicos e estratigráficos para exploração da bacia.

Frente à necessidade de mais estudos na bacia do Parnaíba, este trabalho vem oferecer uma contribuição ao estudo faciológico das rochas Cretáceas na bacia, mais especificamente ao intervalo Aptiano/Albiano (Formação Codó), com a descrição de dois testemunhos de sondagem disponíveis no 4º distrito do DNPM-Recife/PE.



**Figura 1.1.** Mapa de localização da bacia do Parnaíba, onde as rochas mesozóicas e cenozóicas encontram-se compartimentadas pelos limites da bacia do Grajaú, a noroeste da bacia do Parnaíba (Sardenberg et al., 2004).



## 1.2 Objetivos e finalidade

O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar litofácies e suas sucessões, para a interpretação de sistemas deposicionais, além de identificar superfícies estratigráficas de correlação.

Este trabalho visa elaborar um modelo paleodeposicional inserido no contexto tectono-sedimentar regional, que auxilie a compreensão da evolução paleogeográfica da bacia do Parnaíba durante o Aptiano/Albiano e que permita avaliar a existência de potenciais rochas reservatórios (litologia, geometria e heterogeneidades faciológicas) associadas às potenciais rochas geradoras (folhelhos) da formação Codó.

## 1.3 Material e método

Como material de estudo, foram utilizados testemunhos de dois poços (1-UN24-PI e 1-UN32-PI) dos vinte poços executados pelo *Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba*, realizado pelo convênio entre CPRM e DNPM (CNPM/CPRM, 1975). Além da perfilagem geofísica desses poços (raios-gama, resistividade e potencial espontâneo), paralelamente foi feito o levantamento bibliográfico sobre a geologia da bacia. Amostras coletadas nesses testemunhos permitiram a confecção de lâminas petrográficas e ensaios de permeabilidade.

A área de estudo na qual se inserem os poços localiza-se a norte da bacia do Parnaíba, entre as cidades de Coelho Neto (MA) e Teresina (PI), Demerval Lobão (PI) e Alto Parnaíba (MA) e Anapurus (MA) (Figura 1.2).

Os testemunhos estudados estão alocados na litoteca do 4º Distrito do DNPM, em Recife (PE). Possuem diâmetro BW (42,04 mm) e encontram-se condicionados em caixas de madeiras de diâmetro BX (43 mm), algumas em bom estado de conservação e outras não, com até 5 m de rochas testemunhadas, onde cada metro está contido em uma das cinco divisões da caixa. As profundidades estão organizadas em ordem crescente, da direita para a esquerda e de cima para baixo e a indicação das mesmas se dá por marcadores de madeira que exibem a profundidade e a recuperação do processo de testemunhagem.

A perfilagem dos furos que incluem raios-gama (RG), potencial espontâneo (SP) e resistividade (RES), foi executada com os equipamentos Mount Sopris modelo 3000, número 03 e Widco modelo 3000, número 36, ambos montados em veículos tipo rural (DNPM/CPRM, 1975).

O método aplicado neste trabalho foi, em primeiro lugar, o de análise dos perfis geofísicos e litológicos (perfis compostos) disponíveis no Projeto Carvão, com os quais foi feita uma correlação tentativa dos poços baseados nos perfis de raios-gama, multiespectrais (Th), (U) e (K). Após a correlação dos poços, foi elaborada a campanha para descrição dos testemunhos do 4º Distrito do DNPM Recife (PE), onde os poços 1-UN-24-PI e 1-UN-32-PI, foram descritos faciologicamente no intervalo de interesse, somando 239 m de descrição em escala de 1:40, com o intuito de identificar, com maior detalhe as variações litológicas, texturas (seleção e granulometria), as estruturas sedimentares, bioturbação grau e tipo, argilosidade, cor, além de outros aspectos como cimentação, fratura, etc..., os quais foram posteriormente digitalizados no programa AppleCore®.

Os testemunhos estudados foram fotografados no geral e em detalhe por câmera digital (Sony DSC717) e arquivados em um notebook, o qual funcionou como banco de dados durante a campanha de descrição. Amostras de rocha para análise petrográfica (52 unidades), foram coletadas pelo critério da variação litológica, enquanto que amostras para futuras análises geoquímicas e paleontológicas (43) obedeceram fatores de espaçamento ou profundidade.

Na etapa seguinte, foram confeccionadas 9 lâminas, no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da UFRJ, IGEO/UFRJ, para a realização da análise petrográfica em microscópio Zeiss modelo AXIOSKOP 40, quando se buscou ressaltar aspectos mineralógicos, granulométricos e texturais, com o fim de apoiar a caracterização de fácies e observar aspectos diagenéticos que influenciasse em potenciais rochas reservatórios.

Dados de ensaio de permeabilidade com nitrogênio, foram obtidos no Laboratório de testemunhos do CENPES/Petrobrás, utilizando a medição em bancada com o equipamento PDPK-300<sup>tm</sup>, sendo estes medidos tanto verticalmente quanto longitudinalmente em 14 amostras analisadas.

A última etapa, consistiu na análise em escritório com a integração de todos os dados adquiridos, na qual resultou na elaboração desta monografia.



**Figura 1.2.** Mapa de localização dos poços testemunhados 1-UN-24-PI ( $03^{\circ}15'24''/42^{\circ}56'47''$ ) e 1-UN-32-PI ( $04^{\circ}04'55''/43^{\circ}03'15''$ ) das etapas II e III do Projeto Carvão da bacia do Parnaíba, DNPM/CPRM 1975 (Mod. da Quarta Rodada de Licitações da ANP, 2002).

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO

### 2.1 Generalidades

A bacia do Parnaíba localiza-se entre na região Nordeste do Brasil, é também conhecida como bacia do Meio-Norte, ocupando uma área de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup>, cuja sucessão sedimentar em seu depocentro chega a 3,5 km de espessura.

É limitada geologicamente a norte pelo arco Ferrer-Urbano Santos, que a separa das bacias costeiras de São Luís e Barreirinhas; ao sul pelo arco do Médio São Francisco, separando-a da bacia Sanfranciscana; e, a nordeste, pelo Arco de Tocantins, separando-a das bacias de Marajó e Médio Amazonas (Figura 2.1).

Pode ser classificada como uma bacia do Tipo I (interior cratônico), segundo Asmus & Porto (1972, *apud* Gabaglia & Figueiredo, 1986), ou ainda como uma bacia “intracratônica de interior remoto – amplos arcos regionais”, segundo Szatmari & Porto (1982, *apud* Gabaglia & Figueiredo, 1986).

Sua forma hexagonal tem o eixo maior orientado no sentido nordeste – sudoeste, é inscrita em uma geometria, derivada estruturalmente de tectônica evidenciada pelos falhamentos, flexuras e lineamentos que deram origem ao mosaico de blocos escalonados. São os elementos estruturais que condicionaram a forma da bacia e distribuição dos eixos deposicionais e dos estratos (Carozzi *et Alii*, 1975; Fortes, 1978 e Góes *et al*, 1990).

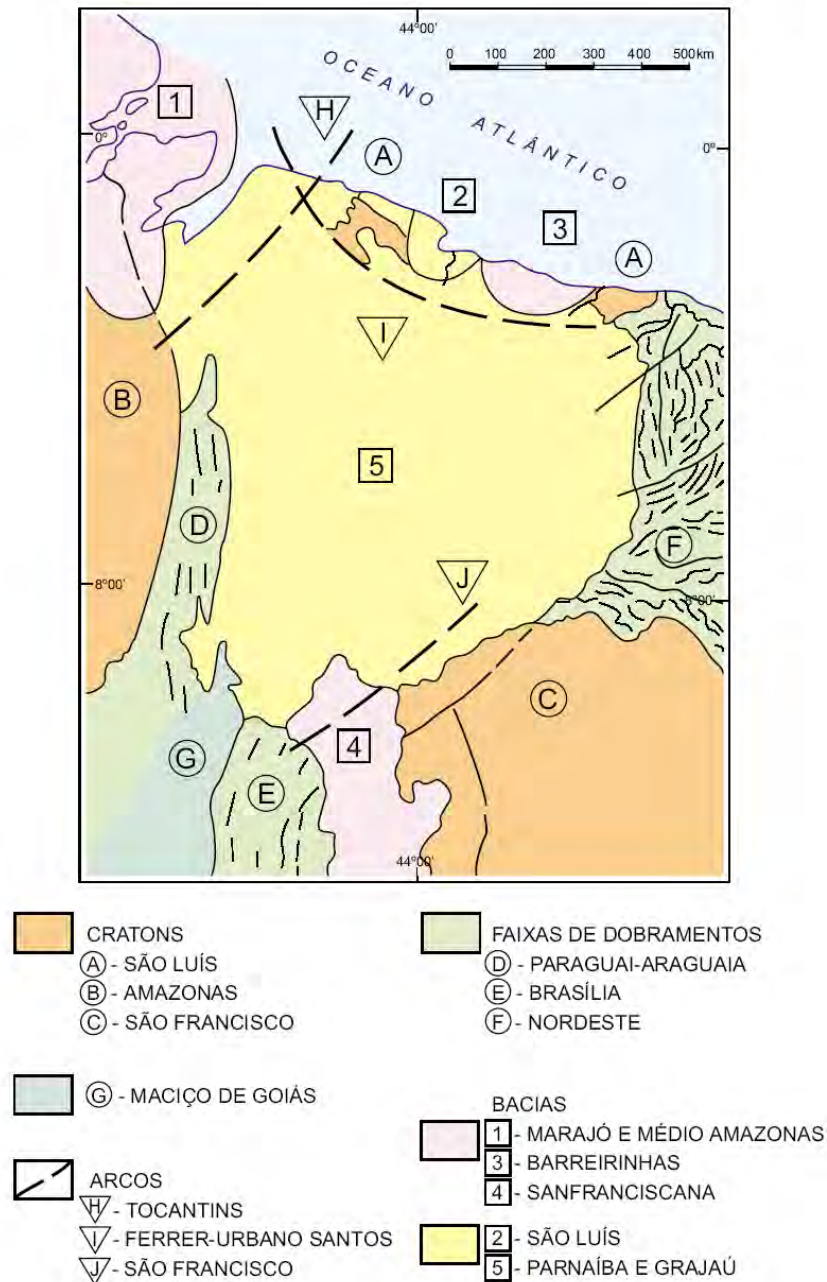
O registro do Cretáceo na bacia do Parnaíba possui a particularidade de se apresentar compartimentada a norte e a noroeste (Rezende & Pamplona, 1970; Lima & Leite, 1978; Petri & Campanha, 1971; Petri, 1987). Esta área foi inicialmente referida como uma bacia à parte por Rezende & Pamplona (1970), chamada de “Bacia Epicontinental do Maranhão”. Posteriormente, utilizou-se o termo “bacia do Codó”, para o registro regional do Aptiano, envolvendo as formações Grajaú e Codó (Azevedo, 1991), a qual, mais recentemente, foi redenominada de bacia do Grajaú (Góes, 1995; Góes & Coimbra, 1996), limitada pelo arco Ferrer-Urbano Santos (a norte), pela antéclise Ximbioá-Alto Parnaíba (a sul), pelo arco Capim (a oeste) e pelo lineamento do rio Parnaíba (a leste).

No presente trabalho, trataremos tal registro aptiano como parte integrante de toda a sucessão da bacia do Parnaíba, sem discriminar eventos tectônicos que influenciaram na sedimentação cretácea, uma vez que tais eventos podem ser compreendidos como fazendo parte da história evolutiva da bacia, delimitada em termos geomorfológicos.

## **2.2 Embasamento**

O embasamento da bacia do Parnaíba é constituído por rochas metamórficas oriundas de diversos processos tectonomagmáticos ocorridos no Proterozóico, não mais antigos que o mesoproterozóico. Abrange partes do cráton de São Luís, a norte; cráton do Amazonas, a oeste; faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia, a oeste/sudoeste; maciço de Goiás, a sudoeste; faixa de dobramentos Brasília, ao sul; cráton de São Francisco, sudeste; e parte faixa de dobramentos Nordeste, a leste (Figura 2.1).

A Formação Riachão (Kegel, 1956) é formada por arenito lítico e arcossiano, siltito e folhelho vermelhos, e ignibritos característicos de uma seqüência molássica. A Formação Mirador (Rodrigues, 1967) devido a amostragem em um único poço, onde somente a parte superior pode ser caracterizada, exibindo arenito, siltito e folhelho esverdeado (Figura 2.3).



**Figura 2.1.** Mapa mostrando os limites geológicos das bacias do Parnaíba, São Luís e Grajaú.

### 2.3 A estratigrafia da bacia do Parnaíba (Góes *et al.*, 1994)

Para este trabalho segue-se a coluna estratigráfica definida por Góes & Feijó (1994), a qual se divide em cinco grupos, depositados do Siluriano ao Cretáceo, sobre o embasamento proterozóico e as formações Riachão e Mirador (Figura 2.2).

*Grupo Serra Grande.* – Foi dividido em três formações por Caputo & Lima (1984) e Góes *et al.* (1992). A *Formação Ipu* (Campbell, 1949) é composta principalmente por arenito hialino, médio a grosso, de origem fluvial anastomosada e

raramente siltito, folhelho e diamictito com influência periglacial (Caputo & Lima, 1984), de idade eossiluriana (Llandovery). A *Formação Tinguá* (Rodrigues, 1967) contém folhelho cinza, siltito e arenito muito micáceo, depositados em ambiente nerítico, durante o Wenlock. A *Formação Jaicós* (Plummer, 1946) engloba arenito médio/grosso e eventuais pelitos depositados em ambiente fluvial entrelaçado durante (Ludlow–Pridoli). Este grupo apresenta-se discordantemente sobre o embasamento metamórfico ou sobre as formações Riachão e Mirador, e seu contato superior apresenta-se também em discordância.

*Grupo Canindé.* – Conforme definido por Góes *et al.* (1992), este grupo divide-se nas formações Itaim, Pimenteira, Cabeças, Longá e Poti. A *Formação Itaim* (Kegel, 1953) é composta por arenito fino esbranquiçado e folhelho cinza-médio a escuro, depositados em ambientes deltáicos e plataformais, dominados por correntes induzidas por processos de marés e tempestades, durante o Eifeliano. A *Formação Pimenteira* (Small, 1914) é essencialmente composta por espessas camadas de folhelho cinza-escuro a preto, refletindo um ambiente nerítico dominado por tempestades (Della Fávera, 1990), onde se depositaram camadas delgadas de arenito muito fino durante o Givetiano-Frasniano. A *Formação Cabeças* (Plummer, 1946), de mesma idade que a anterior, é composta por arenito fino bem selecionado, depositado em ambiente nerítico sob ação de correntes de marés (Della Fávera, 1982; Freitas, 1990) ou por correntes oceânicas e eventual influência periglacial (Caputo, 1984), representada por diamictitos. Outra fácies é constituída por arenito fino a médio, bem selecionado, eventualmente associado a arenito grosso, depositado em ambiente fluvial. A *Formação Longá* (Albuquerque & Dequech, 1946) é formada por folhelho e siltito cinza médio e arenito branco, fino e argiloso, também de ambiente nerítico dominado por tempestade de idade Fameniano. A *Formação Poti* (Paiva, 1937) é composta por arenito cinza-esbranquiçado, intercalado e interlaminado com folhelho e siltito, depositados em ambiente deltáico e de planície de maré e ocasionalmente sob influência de tempestades, durante o Tournaisiano (Eocarbonífero).

Este grupo situa-se discordantemente sobre o Grupo Serra Grande e diretamente sobre o embasamento no extremo leste da bacia.



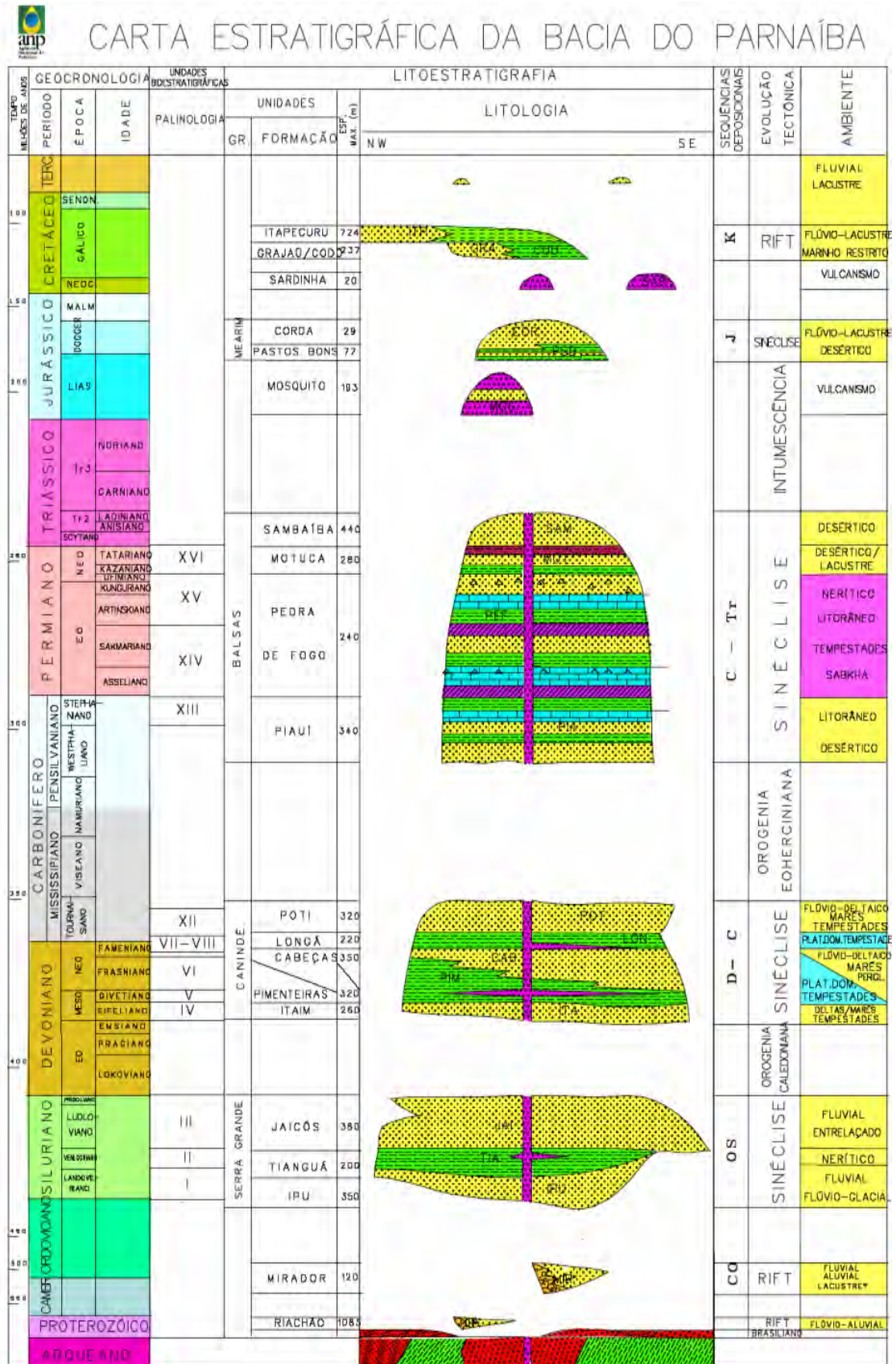


Figura 2.2. Carta cronoestratigráfica da bacia do Parnaíba (ANP, 2002).



*Grupo Balsas.* – Este grupo, definido por Góes et al. (1989, 1992), é constituído por quatro formações. Na base, a *Formação Piauí* (Small, 1914) é composta por arenito cinza-esbranquiçado, fino a médio e bem selecionado, eventualmente conglomerático, folhelho vermelho e calcário esbranquiçado, depositados em ambiente continental e litorâneo durante Stephaniano. Em sucessão a *Formação Pedra de Fogo* (Plummer, 1946) é formada por sílex e calcário oolítico e pisolítico creme a branco, eventualmente estromatolítico, interclado com arenito fino-médio amarelado, folhelho cinzento e anidrita branca, depositados em ambiente nerítico raso a litorâneo com planície de *sabkha*, eventualmente sob influência de tempestades. A *Formação Motuca* (Plummer, 1946) é composta por siltito avermelhado a marrom, arenito branco fino a médio, anidrita branca e raros calcários, depositados em ambiente continental desértico, controlado por sistemas lacustres, durante o Neopermiano. A *Formação Sambaíba* (Plummer, 1946) é formada por arenito róseo a amarelo, fino a médio, bem selecionado, com estratificação cruzada de grande porte, depositada por sistemas eólicos em ambiente desértico, depositados durante o eotriássico.

Este grupo repousa discordantemente sobre o Grupo Canindé e é sotoposto, também em discordância ao Grupo Mearim, às formações Mosquito, Grajaú, Codó, Urucaia em pontos distintos na bacia.

*Grupo Mearim.* – Segundo Góes et al. (1992), este grupo é composto pelas formações Pastos Bons e Corda. A *Formação Patos Bons* (Lisboa, 1914) formada por siltito e folhelho/argilito, verde a castanho-avermelhado, com grãos de quartzo inclusos. A *Formação Corda* (Lisboa, 1914) é caracterizada por arenito cinza-esbranquiçado e avermelhado, fino a grosso e raros níveis de sílex. Acredita-se que para estas rochas o paleoambiente de deposição fosse continental desértico, controlado por sistemas lacustres, de idade Neojurássica a Eocretácica.

O Grupo Mearim repousa discordantemente sobre o Grupo Balsas e a Formação Mosquito, e sosotpostas em discordância às formações Grajaú, Codó, Itapecuru e Sardinha.

Para a sedimentação cretácea, atribui-se um único ciclo deposicional, distribuído através de dois sistemas distintos, que se equivalem cronoestratigraficamente. A *Formação Grajaú* (Lisboa, 1914) é composto por arenitos esbranquiçados, finos a conglomeráticos, depositado em ambiente

litorâneo, que ocorre interdigitado, aos folhelhos betuminosos, calcários e anidritas da *Formação Codó* (Lisboa, 1914), depositados sob influência marinha restrita, de idade aptiana, que é objeto de estudo deste trabalho e, portanto, será melhor detalhado em seção própria a seguir. A *Formação Itapecuru* (Campbell, 1949) constitui-se de arenito avermelhado, médio a grosso, e argilito castanho-avermelhado, sobreposto concordantemente as formações Codó e Grajaú, em ambiente flúvio-lacustre em clima semiárido, de idade albianana.

As ocorrências de magmatismo na bacia, tanto extrusiva quanto intrusiva, variam a idade entre 215 Ma e 110 Ma, e foram associados a três pulsos magmáticos principais (Góes *et al.* 1992). Litoestratigraficamente, duas unidades de caráter extrusivo, foram individualizadas nas formações Mosquito e Sardinha, que apesar de não ocuparem uma posição estratigráfica bem definida, encontram-se preferencialmente intrudidas no Grupo Canindé. A *Formação Mosquito* (Aguiar, 1969), é definida por basalto preto, amidaloidal, toleítico, eventualmente intercalado a arenito vermelho com leito de sílex, de idade Juro-Triássica, tais eventos são correlacionáveis ao magmatismo Penatecaua das bacias do Solimões e Amazonas. A *Formação Sardinha* (Aguiar, 1969), é constituída por basalto preto, amigdaloidal, de idade eocretácea, cujo são correlatos a Formação Serra Geral, da bacia do Paraná.

## **2.4 Tectônica e sedimentação (Góes *et al.*, 1990)**

O preenchimento da bacia do Parnaíba ocorreu em cinco grandes seqüências deposicionais, correlacionáveis a ciclos tectônicos de caráter global (Soares *et al.*, 1978; Góes *et al.* 1992).

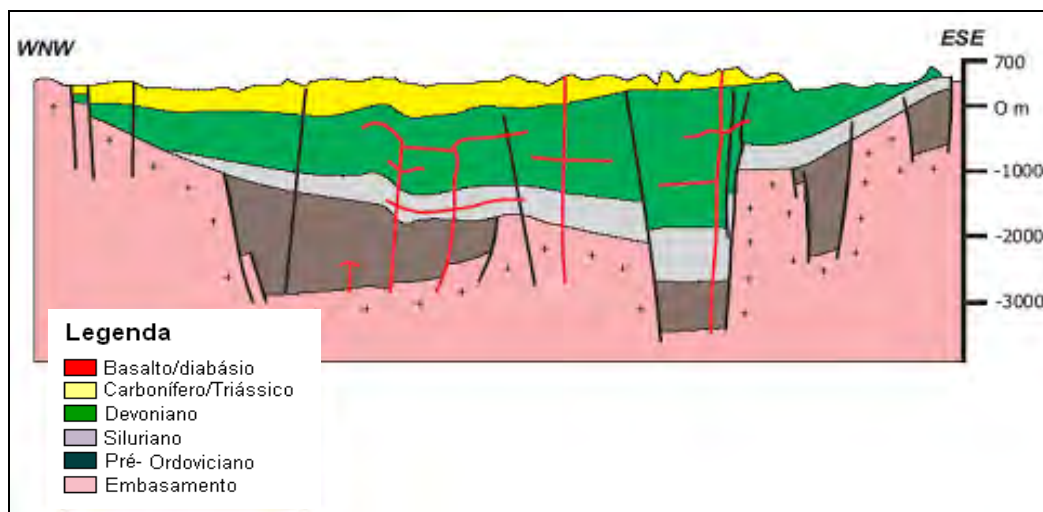
Toda a sedimentação da bacia do Parnaíba foi influenciada pelo contexto, no qual sedimentos imaturos das formações Riachão e Mirador se depositaram. Neste cenário grábens se instalaram no Cambro-Ordoviciano, em virtude de pulsos tectônicos do Ciclo Brasileiro (Figura 2.4).

A primeira grande seqüência, Siluriana, representada pelo Grupo Serra Grande, corresponde a primeira ingressão marinha na bacia, com registro de um ciclo transgressivo–regressivo completo, cuja sedimentação iniciou-se pela

subsidência termal da bacia durante a final do ciclo Brasileiro, cessando em virtude de reflexos da Orogenia Caledoniana.

A seqüência seguinte, de idade Devoniana, é correspondente ao Grupo Canindé, que se implantou pela subsidência termal e aumento da rigidez flexural. Neste contexto de sedimentação registra-se a maior ingressão marinha da bacia, onde se implantou outro ciclo transgressivo–regressivo, e que chegou ao fim devido ao soerguimento da bacia durante a Orogenia Eoherciana.

A seqüência Carbonífera–Triássica, correspondente ao Grupo Balsas, é implantada quando a bacia passa por mudanças estruturais e ambientais marcantes. Seu eixo deposicional controlado por zonas de fraquezas NE e NO, é deslocado para o centro da bacia, tornando mares abertos de ampla circulação, em mares restritos sob condições climáticas áridas, deixando um registro transgressivo–regressivo, em um paleoambiente desértico de sedimentos evaporíticos. Tal sedimentação se extingue, quando se dá o soerguimento bacia resultante da Orogenia Gonduanide (Zalán, 1991).

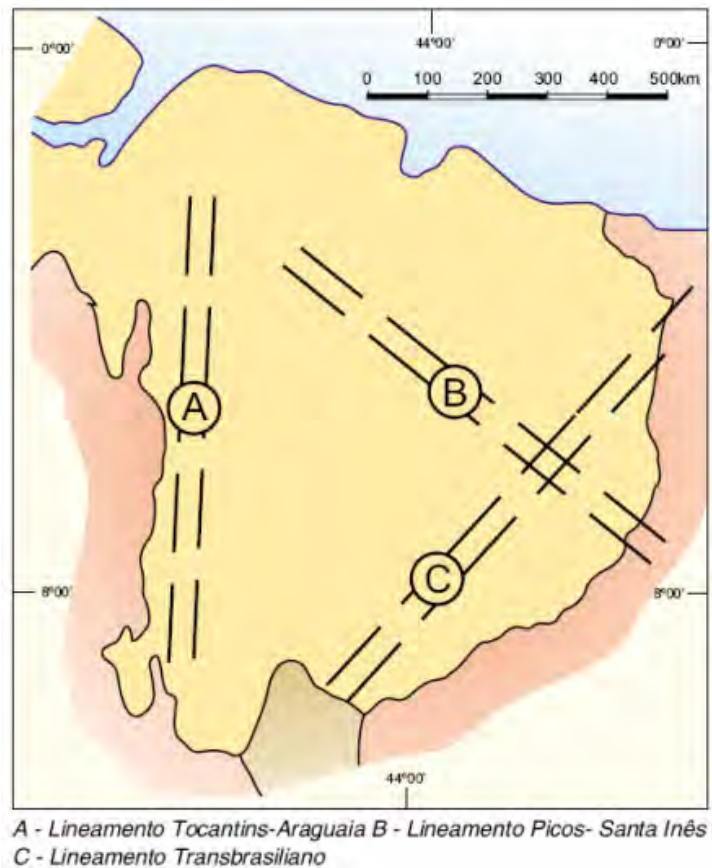


**Figura 2.3.** Seção geológica das seqüências A, D e C-T da Bacia do Parnaíba(ANP,2000), exibindo a tectônica sobre a sedimentação.

Em virtude da subsidência causada pelo magmatismo básico ocorrido durante o Triássico, instala-se a seqüência Jurássica, que corresponde ao Grupo Mearim, cujo registro sedimentar é exclusivamente continental.

A última grande seqüência deposicional é a Cretácea, correspondente às formações Grajaú, Codó e Itapecuru, cuja sedimentação teve influência de esforços de ruptura da margem equatorial brasileira no Neocomiano. A subsidência imposta

pelo processo de rifteamento da margem continental proporcionou em uma rápida transgressão seguida da retirada definitiva do mar, dando aos sedimentos posteriores características exclusivamente continentais.



**Figura 2.4.** Distribuição dos elementos estruturais que definem os lineamentos transbrasilianos e Picos-Santa Inês (Fortes, 1978).




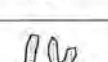


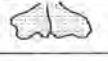



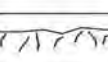
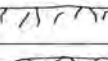


## 2.5 Evidências de tectonismo na sedimentação Cretácea

A análise na literatura sobre depósitos com estruturas deformacionais sinsedimentares, mostra que o entendimento de sua gênese é problemática, já que feições deformacionais podem ser produzidas por diversos outros mecanismos (Mioura & Nakanaya 1991, apud Rossetti 2001). Mecanismos intrínsecos à sedimentação como rápida descarga de sedimentos, movimentos de massa causados por gravidade, flutuação do lençol freático e impactos de ondas de tempestade podem induzir estruturas deformacionais em um depósito sedimentar (Mills 1983, Owen 1987; Allen 1986; Blanc *et al.* 1998, apud Rossetti, 2001). Isto tem dificultado a interpretação o entendimento de eventos catastróficos ao longo da

história geológica de um determinado local. Com base nesta afirmação estudos enfocando depósitos cretáceos na Bacia São Luís-Grajaú revelaram feições sedimentares de natureza dúctil e rúptil em depósitos Aptianos e Neocretáceos, que dificilmente estariam associados a processos inerentes a sedimentação.

Feições deformacionais tipicamente confinadas a horizontes estratigráficos de extensão lateral expressiva, foram observados em afloramentos da formação Codó nas proximidades da cidade de Codó (MA) (Rossetti, 2001). As feições ocorrentes nesta formação foram agrupadas de acordo com sua natureza, sendo elas origem dúctil, rúptil e mista, conforme o Quadro 2.1.

**Quadro 2.1.** *Síntese de estruturas deformacionais que ocorrem nos depósitos cretáceos da Bacia São Luís-Grajaú (Rossetti et al., 2001).*

Estrutura		Descrição		
DÚCTIL	CONTORCIDA	Dobra convoluta	Dobras em amplas sinclinais e anticlinais lateralmente alternantes	
		Ball-and-pillow	Arenitos em formas sinclinais ou círculos concêntricos que afundaram em sedimento de igual composição	
		Estratificação convoluta irregular	Estratificação fortemente distorcida, formando padrões de deformação caóticos ou dobras irregulares que gradam a acamamento maciço	
	INTRUSIVA	Pilar	Estrutura alongada, retilínea ou sinuosa, vertical a subvertical e que rompe bruscamente as camadas de arenitos	
		Dique	Massa irregular de arenito que rompe os estratos hospedeiros	
		Cúspide	Protuberância curta para cima e encurvada lateralmente, desenvolvida em arenitos	
		Lobo de Subsidência	Massa de arenito com forma de lobo que afunda em sedimentos de igual composição	
	RÚPTIL	Falha e fratura	Rompimentos verticais a subverticais, com ou sem deslocamento de camadas que terminam rapidamente em profundidade, com planos axiais tipicamente mostrando protuberâncias delicadamente preservadas	
		Fissura	Rompimento vertical a subvertical em forma de cunha que se adelgaça para baixo desaparecendo em profundidade. Bordas irregulares com protuberâncias delicadamente preservadas e, internamente, intraclastos flutuando em meio à matriz	
Molar-tooth		Série de microfraturas verticais a subverticais arranjadas em padrões geométricos complexos e internamente preenchidas por micrito ou cristais de calcita		
Brecha		Horizonte lateralmente contínuo consistindo de clastos angulosos in situ		
Falha de crescimento		Falha com espessamento dos estratos nos blocos subsidentes		
MISTA		Mound-and-sag	Sinclinais e anticlinais alternadas lateralmente cujas morfologias são tipicamente acentuadas por processos de falhamento das margens das dobras	
		Slump	Estrutura em forma côncava, definida por uma ou múltiplas superfícies basais listricas, que cortam depósitos geralmente de composição similar apresentando deformação que diminui de intensidade gradativamente para cima	

Essas feições deformacionais são restritas a determinados intervalos interdigitados a camadas indeformadas, além disso estruturas que possuem sua gênese associada a interação sólido-líquido remetem a interpretação de que tais registros teriam origem sindeposicional.

A idéia de que essas estruturas deformacionais têm origem alóctone atribuída a abalos sísmicos é confirmada pelo fato de que os paleoambientes deposicionais propostos para o intervalo estudado não são favoráveis à descarga sedimentar ou a movimentos gravitacionais, além dos efeitos tectônicos nos quais a bacia foi submetida durante o Cretáceo.

### 3 A FORMAÇÃO CODÓ

#### 3.1 Aspectos litoestratigráficos e de sedimentação

Folhelhos betuminosos, calcários e arenitos, aflorantes no município de Codó, foram referidos inicialmente por Lisboa (1914) e em Lisboa (1935) recebeu o nome de Formação Codó, cuja posição estratigráfica ficava sobre os arenitos posteriormente chamados Grajaú.

Adotando o mesmo critério utilizado por Lisboa (1935), Aguiar (1969) elevou os arenitos Grajaú à categoria de formação. Cunha & Carneiro (1972) indicaram que as Formações Codó e Grajaú são de mesma idade, com variação lateral de fácies. Segundo Carneiro (1974), a Formação Grajaú define-se como arenitos com intercalações de argilitos vermelhos. A Formação Grajaú foi posteriormente definida por (Schobbenhaus *et al.* 1984), como arenitos finos a conglomeráticos, de cor creme, com grãos arredondados exibindo estratificação cruzada e plano-paralela, de ambiente fluvial e eólico.

A primeira subdivisão litológica da Formação Codó foi efetuada por Wesner & Wooldridge (1962) e modificada dois anos depois pelos mesmos, onde três unidades informais compunham a formação. A primeira seria composta por folhelhos negros e betuminosos, fossilíferos com intercalações de níveis carbonáticos e anidritas, que foi interpretado como um ambiente lacustre com ciclos evaporíticos e breves ingressões marinhas; a unidade intermediária, composta com arenitos brancos e esverdeados mal selecionados e micáceos, característicos de um ambiente marinho transgressivo; e a unidade superior de folhelhos, composta por folhelhos físseis, com gastrópodes marinhos.

Para Cerqueira & Marques (1985), os folhelhos da Formação Codó teriam se depositado em ambiente lagunar anóxico, redutor, enquanto que os arenitos da Formação Grajaú representariam depósitos de leques deltaicos interdigitados.

Carvalho (1987), propôs que, para a Formação Codó, o paleoambiente seria lacustre, enquanto, que, para a Grajaú, o paleoambiente estaria sob influência fluvial. Aranha *et al.* (1990) propuseram a interpretação de um ambiente flúvio-deltaico, incluídos em ambiente lacustre.

O contato inferior da Formação Codó, com a Formação Grajaú, é considerado concordante, com discordâncias locais; enquanto que o superior, com a formação Itapecuru, concordante.

Góes & Feijó (1994) propõem que as unidades Codó, Grajaú e Itapecuru, façam parte de uma mesma sequência deposicional, que estão diretamente relacionadas a evolução do arco Ferrer-Urbano Santos, uma importante unidade estrutural desenvolvida durante a abertura do Atlântico Equatorial (Rezende & Pamplona, 1970).

Rodrigues *et al.* (1994) dividem a Formação Codó em sequência evaporítica basal, conglomerática e pelítica média, e arenosa superior. A sequência evaporítica basal é composta por folhelhos pretos betuminosos e calcilutitos escuros na base, recobertos por folhelhos verdes e avermelhados, recortados por veios de calcita e no topo apresenta bancos de gipsita nodular, branca e acinzentada.

A sequência média, conglomerática em sua base, é composta por fragmentos de calcilutito, folhelhos e gipsita intercalados. Acima ocorre marga acinzentada e folhelho fossilífero.

Na sequência superior, a sedimentação clástica corresponde basicamente a arenitos quartzosos, amarelos com estratificação cruzada de baixo ângulo. Isto levou os autores a interpretar a sedimentação como em ambiente marinho raso de precipitação carbonática em um episódio transgressivo.

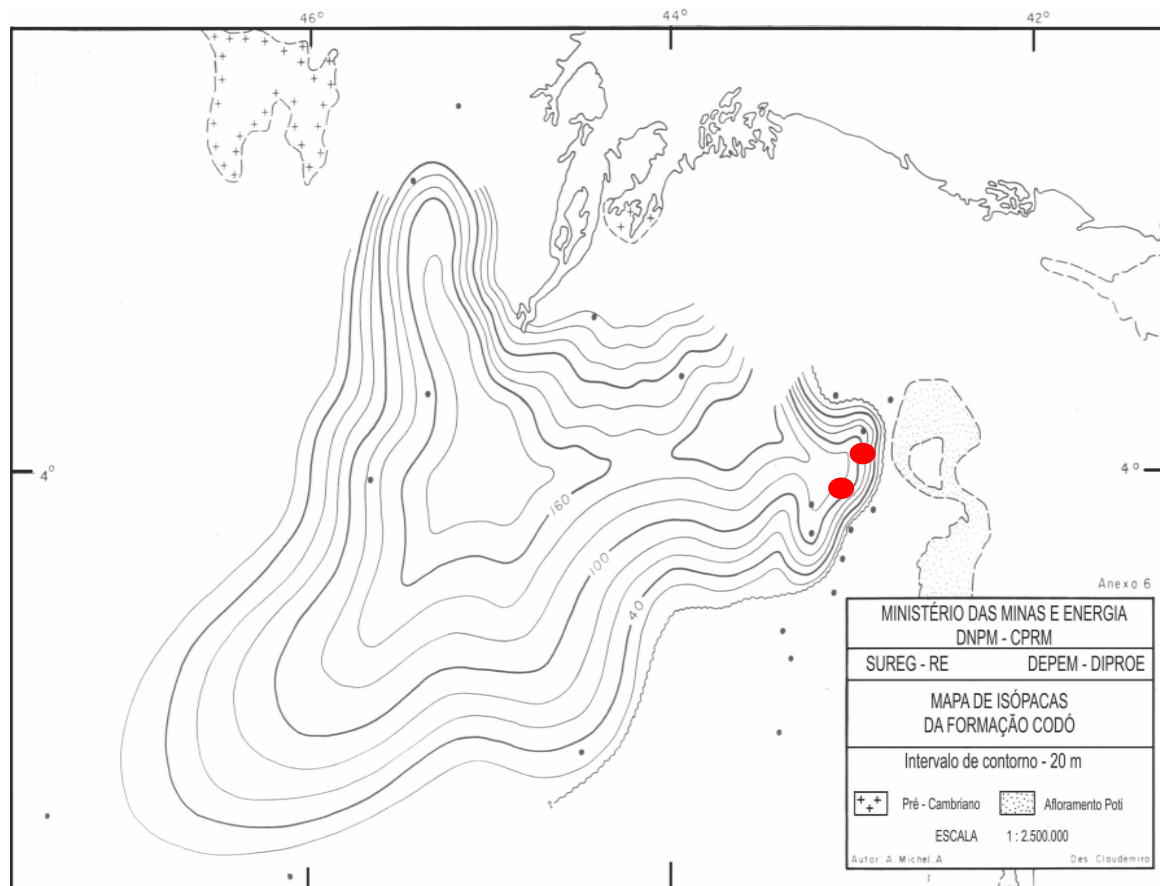
### **3.2 Geocronologia**

Os dados palinológicos de Lima *et al.* (1980) e Lima (1982) indicam idade Alagoas Superior (Eoalbiano). Por correlação com a Formação Santana, a parte basal com calcários laminados é datada no Aptiano, e a superior é datada no Eoalbiano. Em Góes & Feijó (1994) a idade é situada no Gálico. Rosseti *et al.* (2001) indicaram a idade neoaptiana para a unidade atribuída à Formação Codó e Meso/Neoalbiano para a unidade superior.



### 3.3 Distribuição e Espessura

Os sedimentos Cretáceos na Bacia do Parnaíba são em sua maior porção localizados na parte Norte e Noroeste da Bacia. A Formação Codó apresenta afloramentos restritos e aparecem nos rios que drenam o centro da Bacia desde a margem oeste, na confluência dos rios Tocantins e Araguaia, até próximo a margem do rio Parnaíba, na cidade de Brejo (MA), e nas minas de gesso a céu aberto em torno da cidade de Codó (MA). A Formação Grajaú apresenta distribuição semelhante no centro da bacia, com limites a oeste da Cidade de Imperatriz (MA), indo até as margens do rio Itapecurú. Apresentam em subsuperfície uma espessura máxima de 237 m (Góes & Feijó, 1994) (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Mapa de isópacas da formação Codó, onde cada ponto preto representa um poço perfurado no Projeto Carvão, 1975. O ponto vermelho superior representa o poço 1-UN-24-PI e o inferior o poço 1-UN-32-PI.

### 3.4 Fósseis

A Formação Codó, possui uma riqueza em fósseis bem preservados. Dentre os microfósseis as ocorrências palinológicas mais relevantes são *Exesipollenites tumulus*, *Sergipea variverrucata*, *Equisetosporites irregulares* e *Alaticolpites*, cuja assembléia aponta para o final da idade Alagoas.

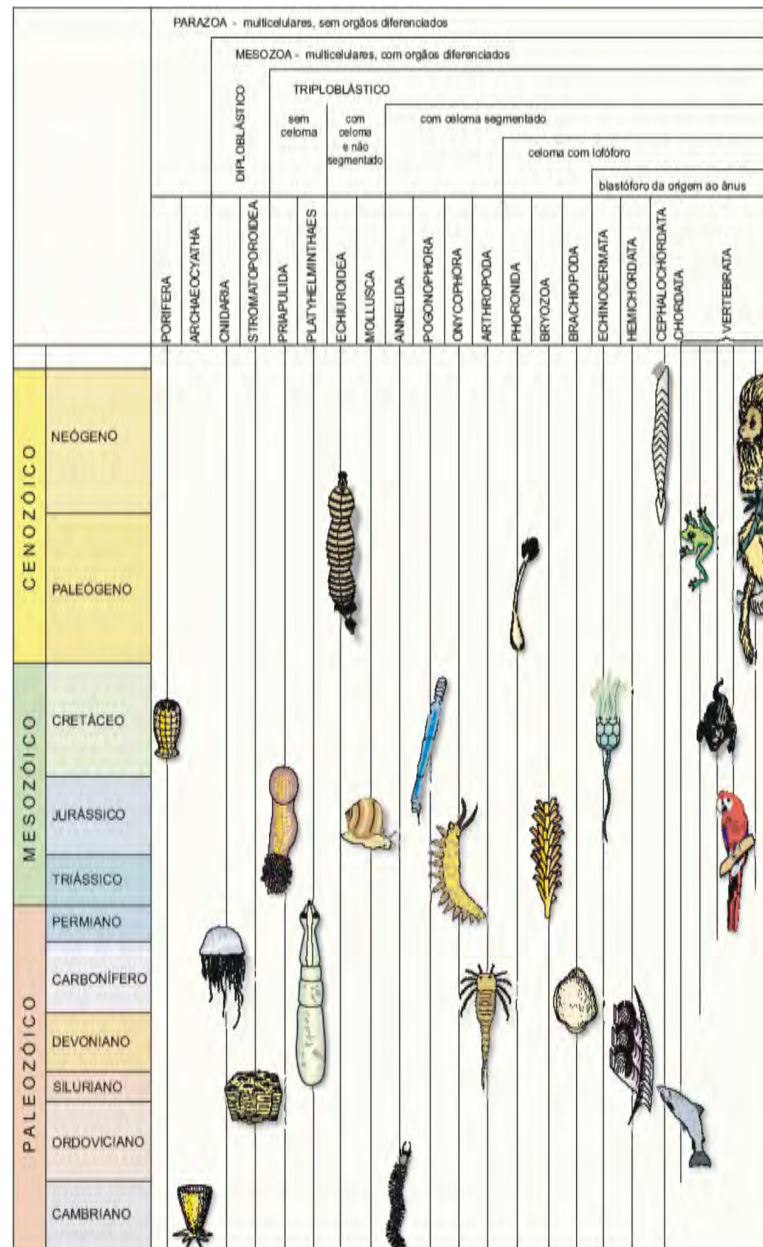
Quanto a flora do paleoambiente Codó, algumas citações referem-se a troncos de dicotiledôneas (Lisboa, 1914), madeiras, restos vegetais (Moraes Rego, 1923) e plantas indeterminadas (Borges, 1937 e Duarte, 1958). A madeira fóssil foi descrita como *Lecythioxylon brasiliense* (Milanez, 1935), e Duarte & Santos (1993) descreveram exemplares de folhas como *Nymphaeites choffatii*, correlacionada ao Membro Crato, da Formação Santana na Bacia do Parnaíba, e a Formação Areado, da Bacia Sanfranciscana.

Com relação a fauna, os invertebrados são abundantes na formação. Entre os microfósseis os Ostracodes da espécie *Hourcoupia angulata symmetrica*, *Bisulcocypris silvai*, *Bisulcocypris pricei* e *Bisulcocypris quadrinodosa*; além de conchostráceos *Cyzicus codoensis*. Os insetos *Pricecores breckerae* e *Latiscutella santosi* (Pinto & Ornellas, 1974).

Coquinas formadas por *Paranomia scraba* foram descritas por Ferreira & Cassab (1987), indicando idade albiã. São de uma associação marinha que contém bivalvíos da família Anomiidae, Corbulidae e Cardiidae, gastrópodos das famílias Turritellidae, Cerithiidae e Corbulidae e espinhos de equinóides.

Já entre os vertebrados há peixes, entre os quais os de maior ocorrência são *Calamopleurus cylindricus*, *Brannerion latum*, *Araripelepidotes temmurus*, *Tharrhias araripis*, *Dastilbe elongatus*, *Vinctifer comptoni*, *Santanichthys diasii*, *Cladosyclus gardneri*, *Codoichthys carnavali*, *Rhacolepis buccalis* (Santos, 1974b, 1985, 1992, 1994a e Carvalho, 1997).(Figura 3.2)

Espécies como *Dastilbe elongatus*, correlaciona a parte basal da Formação Codó com o membro Crato da Formação Santana, Bacia do Araripe.

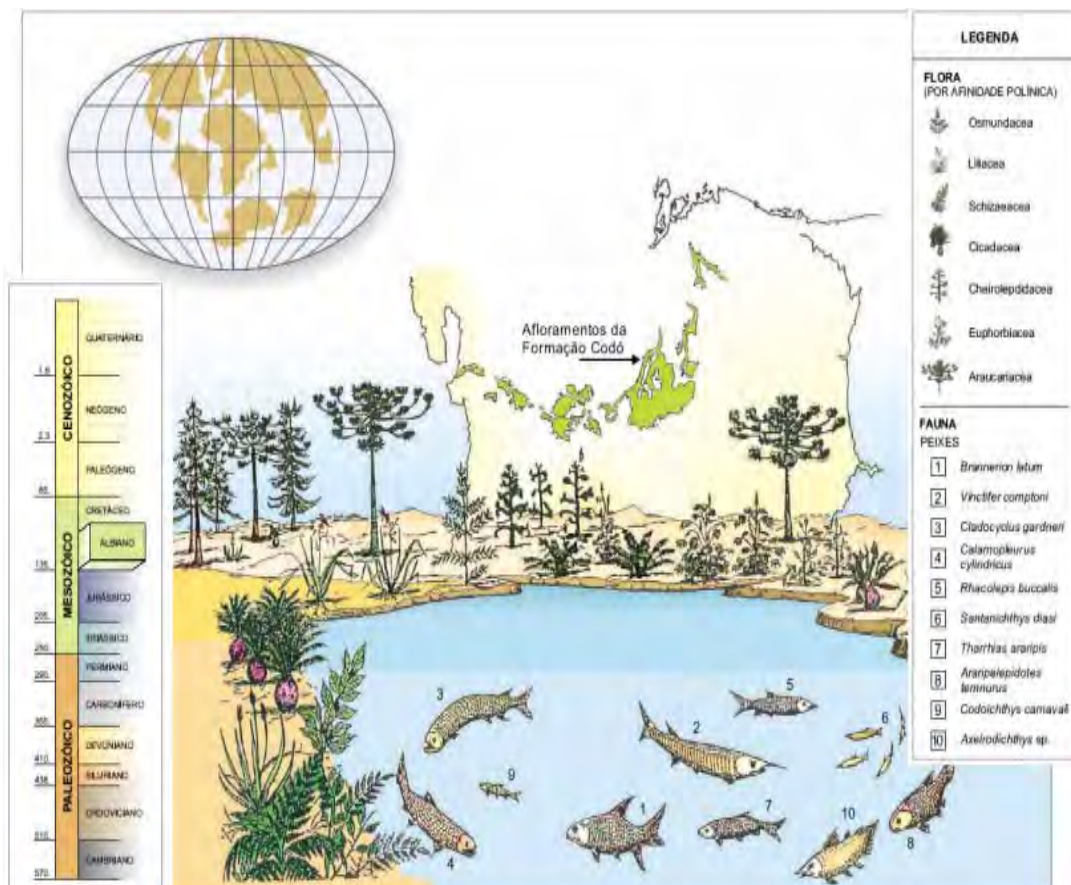


**Figura 3.2.** Distribuição bioestratigráfica dos animais fósseis da bacia do Parnaíba (Santos, 1992).

### 3.5 Paleogeografia

A sedimentação Cretácea, no Alagoas/Albiano foi compartimentada ao norte da bacia do Parnaíba, pela evolução estrutural do arco Ferrer-Urbano Santos durante o rifteamento da Margem Atlântica Sul-Equatorial (Rezende & Pamplona, 1970 e Miura & Barbosa, 1972). Neste tempo, a sedimentação cretácea foi controlada por esse evento tectônico global e pela elevação eustática do nível do mar durante o Albiano

e Cenomaniano, colocando na mesma seqüência deposicional as formações Codó, Grajaú e Itapecuru. Com base neste contexto conclui-se que as incursões marinhas para a sedimentação Codó, vieram do Nordeste, de porções do arco Ferrer-Urbano Santos ainda não totalmente soerquidos (Rezende & Pamplona, 1970). No Aptiano/Albiano a sedimentação é iniciada com folhelhos betuminosos e devido a progressiva elevação eustática e aumento do nível de base das águas interiores, os ambientes lacustres se formaram. Já no decurso do processo transgressivo, houve a precipitação dos sedimentos carbonáticos, em um mar raso, e após quando a transgressão chega ao seu máximo começa a precipitação química dos minerais evaporíticos em águas residuais deixadas no processo regressivo, bem evidente por arenitos do topo e pelos arenitos das dunas eólicas da Formação Grajaú (Figura 3.3).



**Figura 3.3.** Reconstrução paleogeográfica e paleobiológica da formação Codó na bacia do Parnaíba.

### 3.6 Geologia do Petróleo

A Formação Codó possui correlatos nas bacias adjacentes como, Barreirinhas e Ceará-Potiguar e Sergipe-Alagoas, consideradas geradoras de hidrocarbonetos. O conhecimento sistemático sobre a Formação Codó se faz necessário, com o intuito de elaborar um modelo análogo que sirva para de parâmetro estratigráfico e paleoambiental para as bacias vizinhas.

Rodrigues (1995), ao estudar, com base na análise Geoquímica, as formações potencialmente geradoras de hidrocarbonetos na bacia, identificou 5 intervalos estratigráficos dentro da Formação Codó (Figura 3.4).

Na base da formação, o intervalo 1 apresenta a matéria orgânica, tipo IV, predominantemente oxidada, refletindo em valores baixos de carbono orgânico, dos índices de hidrogênio e oxigênio. Nos poucos níveis onde os teores de COT estão entre 1,0 e 3,8 %, a matéria orgânica é representada por restos vegetais superiores, normalmente oxidados.

O intervalo 2 logo acima, apresenta matéria orgânica tipo I ou de mistura entre I e II em diferentes proporções em litologias consituídas por margas e calcilutitos impuros. Nas partes mais argilosas, é comum um aumento da quantidade de matéria orgânica do tipo III.

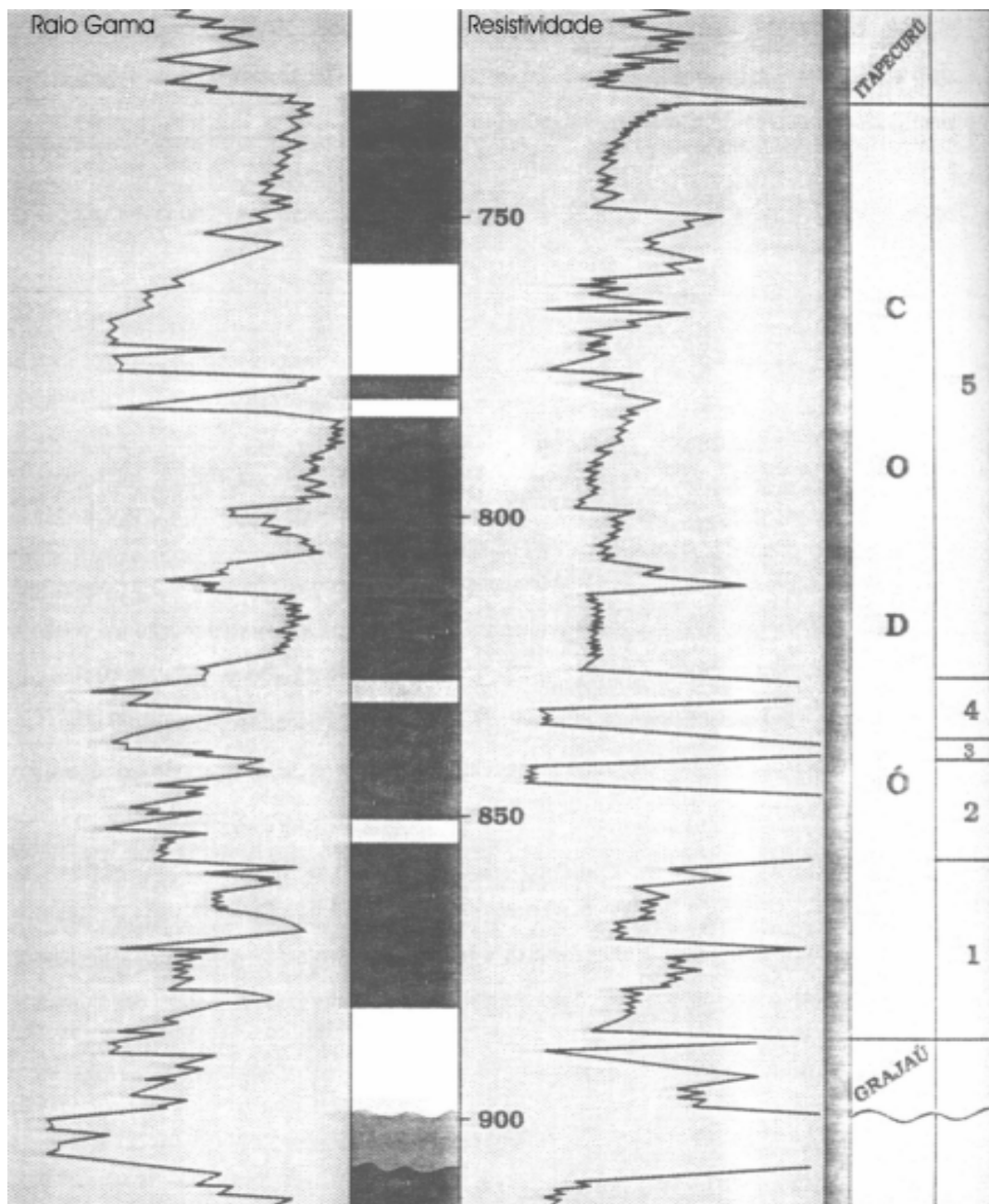
O intervalo número 3 é constituído essencialmente por margas e possui matéria orgânica do Tipo I, além de teores de carbono orgânico mais elevados. Foi observado neste intervalo, uma nítida tendência do aumento da matéria orgânica rica em hidrogênio.

Nas camadas com menor resistividade (menos calcíferas), a quantidade de matéria orgânica oxidada é maior, refletindo no total uma matéria orgânica relativamente pobre em hidrogênio para o intervalo 4.

O intervalo 5, logo acima, é composto por folhelhos calcíferos que contêm matéria orgânica característica do Tipo III.

Apesar de mostrar intervalos em que a matéria orgânica possui quantidade e composição adequada para geração de hidrocarbonetos, a baixa evolução térmica não permite afirmar que Formação Codó possa ser a geradora de hidrocarbonatos na bacia do Parnaíba (Rodrigues, 1995). Porém, estudos realizados para se avaliar

as possibilidades oleígenas da Formação Codó, utilizando métodos industriais, revelaram condições muito boas para a produção de hidrocarbonetos em xistos desta formação. Cumpre ressaltar que o interesse pelo aproveitamento do potencial de geração da Formação Codó está diretamente ligado aos problemas energéticos nacional e pela necessidade de se explorar novos campos para o desenvolvimento autosustentável do país (Petrobrás, 1978).



**Figura 3.4.** Seqüência cretácea no poço 1-CI-1-MA, onde observa-se a divisão de 5 intervalos na formação (Rodrigues, 1995).



## 4 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

### 4.1 Fácies

Um determinado sistema é caracterizado por um padrão de organização, estrutura e processo (Capra, 1996). A organização seria a parte abstrata do sistema, possui relação direta com o objeto, enquanto que a estrutura, é a constituição física do sistema. O processo é a alteração da estrutura mantendo o padrão organizacional.

Como forma de se estudar essa organização no registro geológico sedimentar, busca-se o conceito de análise de fácies sedimentares como forma de estudo da estrutura e processos verificáveis no registro.

Borghi (2000) define uma fácies como uma massa de sedimentos ou rochas sedimentares caracterizadas e distinguidas das demais por um conjunto atributos, sejam eles a litologia, textura, estrutura (sedimentar), cor, geometria estratal, registro fóssil e atributos direcionais. Uma fácies decorre de um processo sedimentar (químico, físico ou biológico), podendo ser reconhecida através de sensores remotos (geofísicos); e pode ocorrer em ambientes sedimentares distintos, desde que o processo seja recorrente. Neste estudo, uma vez que se salientaram os atributos físicos (“litológicos”), foi utilizada a modalidade de “litofácies”, dentre as diversas modalidades existentes (biofácies, icnofácies, petrofácies *etc.*)

Após a caracterização de uma fácies, é importante se conhecer a relação entre elas (relação de fácies). Dessa relação, são estabelecidas sucessões (verticais) e associações (3D) de fácies, usualmente através de perfis e seções estratigráficas, respectivamente.

De acordo com a Lei de Correlação de Fácies de Johannes Walther (Lei de Walther), as fácies que ocorrem em uma seqüência vertical concordante, provavelmente são representativas das fácies que se depositaram em um determinado tempo e região, em ambientes lateralmente adjacentes. Partindo da conceituação da Lei de Walther, aplicou-se aqui o conceito de sucessão de fácies, o qual expressa uma relação específica de seqüenciamento linear das fácies no espaço usualmente exposta por um perfil sedimentológico vertical (*cf.* Borghi, 2000). O conceito é útil no presente trabalho porquanto aqui se trata da análise faciológica

em poços (testemunhos). Por outro lado, entende-se por uma associação de fácies como sendo a relação tridimensional de um conjunto de fácies, expressa de várias maneiras (q.v. Borghi, 2000), entre as quais a correlação desses poços.

É a síntese dessas relações que permite o reconhecimento dos modelos deposicionais (cf. Borghi, 2000). No estudo tais modelos foram concebidos à luz do conceito (em escala) dos Sistemas Depositionais (Fisher & McGoan, 1967, *apud* Borghi, 2000).

#### **4.2 Superfície de Inundação Máxima**

A Estratigrafia de Seqüências sugere conceitualmente que o desenvolvimento de geometrias e superfícies estratais é controlado por variações relativas do nível do mar. Assim, em um evento transgressivo, a região de maior profundidade na bacia pode registrar zonas ou seções condensadas, que são delgados intervalos estratigráficos caracterizados por baixas taxas de deposição siliciclástica e elevadas concentrações de matéria orgânica.

A superfície física correspondente ao máximo da transgressão é denominada superfície de inundação máxima, podendo ser identificada em perfil de raio gama, onde é registrada o maior valor na escala de perfilagem.

#### **4.3 Superfície transgressiva**

A superfície transgressiva limita o topo do trato de sistema de mar baixo e pode coincidir com superfície discordante em áreas proximais da plataforma. Geneticamente está associado a uma variação positiva do nível relativo do mar, que resulta em uma transgressão. Esta superfície marca uma mudança brusca de associação de fácies, que marcam um súbito afogamento da bacia.



#### 4.4 Superfície discordante

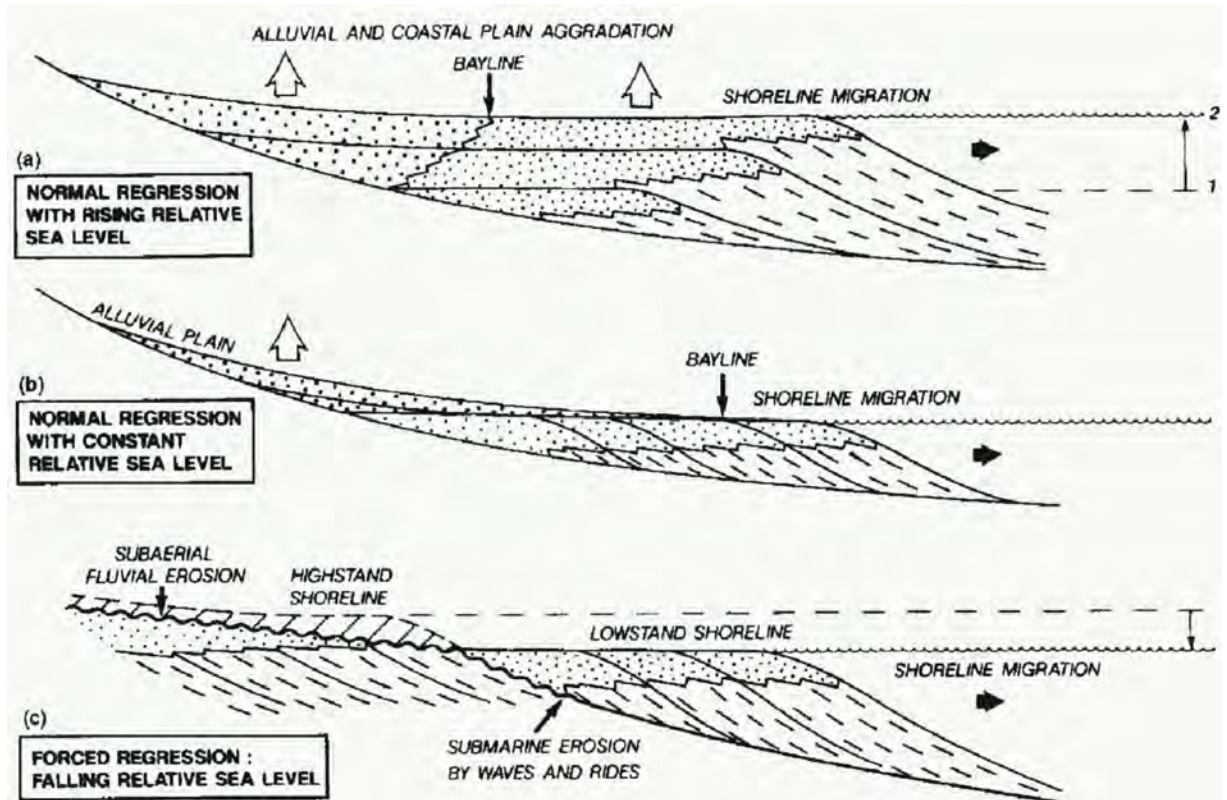
A superfície discordante é considerada um limite de seqüências devido ao fato de ser uma superfície que separa camadas antigas das mais novas, ao longo da qual existe evidências de truncamento erosivo subaéreo ou exposição subaérea, com uma significativa indicação de hiato (Posamentier et al. 1988, p.110).

#### 4.5 Regressão forçada

Conceitos da estratigrafia de seqüências são utilizados neste trabalho como forma de melhor entender os processos de deposição sedimentar e variação de fácies (Posamentier et al. 1988, p.110). A regressão forçada é um conceito recente como a própria estratigrafia de seqüências e deve ser entendido em ambiente marinho e adaptado para o ambiente lacustre.

A regressão forçada difere da regressão normal por ser independente do influxo sedimentar para a bacia. Uma regressão normal ocorre quando a taxa de deposição de sedimentos é maior que a taxa de acomodação, que faz com que a linha de costa migre em direção ao centro da bacia. Enquanto que uma regressão forçada ocorre quando há uma queda relativa do nível do mar, criando uma zona de *bypass* de sedimentos, exposição subaérea e erosão fluvial, formando depósitos de sedimentos grossos em corpos isolados e separados do sistema deposicional precedente (Posamentier et al. 1988, p.110) (Figura 4.1). A inclinação da plataforma afeta diretamente a taxa de regressão durante o rebaixamento do nível de base, que no caso estudado se deve a influências tectônicas já relatada na bacia.

Vale ressaltar, que o modelo de regressão forçada é ativamente utilizado na exploração de petróleo, visto que os reservatórios correspondem aos depósitos arenosos das regressões em algumas bacias (q.v. Krause et al., 1987).



**Figura 4.1.** Modelo esquemático de regressões forçadas. Em (a) e (b) temos regressão normal em dois contextos diferentes (nível do mar estático e nível do mar subindo). Em (c) temos uma regressão forçada ocasionada por uma queda brusca do nível do mar (mod. Posamentier et al., 1992).

## 5 ANÁLISE FACIOLÓGICA

### 5.1 Fácies

Neste trabalho foram reconhecidas doze litofácies, referidas como fácies por simplicidade e sumarizadas no Quadro 5.1, dentre as quais terrígenas (7), químicas (4) e biogênicas (1). Entre as terrígenas, três são pelíticas (Fe, Fp e Sc), três psamíticas (Ao, Ac, Ac(c)) e uma psefítica (C); entre as químicas, duas são de textura fina (cL e cS) enquanto que duas outras, grossa (B e G); já entre as biogênicas apenas uma, arenítica (cA).

Como embasamento para esta interpretação e discussão das fácies foram utilizados os trabalhos de Paz & Rosseti (2001) e Rosseti *et al.* (2004).

**Quadro 5.1.** *Resumo das fácies analisadas.*

	<b>Código</b>	<b>DIAGNOSE</b>	<b>PROCESSO</b>
<b>Pelíticas</b>	<b>Fe</b>	Folhelho cinza, betuminoso, intercalado com lâminas de evaporito)	Decantação de terrígenos em ambiente redutor (anóxico), hipersalino.
	<b>Fp</b>	Folhelho, fossilífero, com presença de ostracodes e gastrópodes.	Decantação de terrígenos finos em ambiente subaquoso, anóxico–disóxico.
	<b>Sc</b>	Siltito calcífero, interlaminado com arenito muito fino e estruturas de greta-de-ressecamento.	Processos de tração fraca e decantação em ambiente subaquoso, com exposição subaérea cíclica
<b>Psamíticas</b>	<b>Ao</b>	Arenito fino, com laminação cruzada por onda ( <i>wave-ripple cross lamination</i> ) em acamamentos <i>wavy</i> e <i>flaser</i> .	Aporte de terrígeno macraclástico (fluxo trativo), reelaborado por fluxo oscilatório (onda).
	<b>Ac</b>	Arenito fino a médio, argiloso, com laminação cruzada em acamamento <i>flaser</i> e <i>wavy</i> , além de estruturas convolutas e de fluidização	Aporte de terrígeno depositado por corrente subaquosa, alternada com decantação, e deformado pelo escape de fluidos
	<b>Ac(c)</b>	Arenito fino a médio, com laminação cruzada cavalgante ( <i>climbing ripple</i> )	Aporte de terrígenos depositados por fluxo corrente trativa desacelerante.
<b>Psefítica</b>	<b>C</b>	Conglomerado fino, polimítico, suportado por matriz, maciço (?) ou imbricado	Deposição por processos subaquosos de alta energia, provavelmente por fluxo trativo
<b>Biogênica</b>	<b>Ca</b>	Calcarenito ( <i>grainstone</i> ) fino a médio, ostracodal, em acamamento <i>wavy</i> .	Decantação de terrígenos finos em ambiente subaquoso, alternado com fluxos de correntes trativas sob influência de ondas.
<b>Química</b>	<b>G</b>	Gipsita com estruturas de rosetas, laminação-paralela, maciça, dente-de-cão.	Precipitação química de sulfato de cálcio (CaSO <sub>4</sub> ) em ambiente subaquoso.
	<b>B</b>	Brecha intraformacional maciça, composta por fragmentos de folhelho vertical/subvertical,.	Decantação de terrígenos seguido de exposição subaérea e dissolução.
	<b>CL</b>	Calclutito, com laminações de argila e fenestras ( <i>vugs</i> ) preenchidas por anidrita.	Precipitação química em ambiente subaquoso raso, seguida de dissolução por exposição subaérea.
	<b>CS</b>	Calcissiltito, interlaminado com pelito, apresentando greta-de-diastase.	Precipitação química associada à decantação de terrígenos

### 5.1.1 FÁCIES Fe

“*Evaporito*”: Paz & Rossetti (2001)  
“*Folhelho Negro*”: Paz & Rossetti (2001)  
“*Black shale*”: Rossetti *et al.* (2004)

*Diagnose.* – Folhelho cinza amarelado a cinza médio (5Y 8/1, N5), betuminoso, intercalado com lâminas milimétricas a centimétricas de calcário ou anidrita (evaporito). Pode apresentar estruturas convolutas e pseudomorfos de halita (Estampa I).

*Interpretação.* – Decantação de terrígenos em ambiente subaquoso de baixa energia, redutor (anóxico), hipersalino, associado à precipitação química de evaporitos.

*Discussão.* – Esta fácies ocorre com frequência em ambos os poços (18%), mais particularmente na parte inferior do intervalo de estudo (164–179 m do poço 1-UN-24-PI e 128–164 m do poço 1-UN-32-PI).

Falhas e fraturas preenchidas por anidrita podem estar presentes, bem como a presença de pirita, observada macroscopicamente.

Sua cor escura e a presença de pirita indicam deficiência em oxigênio no paleoambiente de sedimentação redutor subaquoso, possivelmente associado pela presença de salmoura densa, indicada pela presença de evaporitos, a qual reduz circulação de água e o aporte de oxigênio (*cf.* Paz & Rossetti, 2001).

Esta fácies é a de maior conteúdo provável de matéria orgânica, a qual pode apresentar, segundo a literatura, valores entre 2 % e 27,3% de Carbono Orgânico Total (COT). Esta fácies deve distribuir-se pelos intervalos geoquímicos 1, 2 e 3 da Formação Codó, segundo Rodrigues (1995). Este último intervalo é considerado o de maior concentração do conteúdo orgânico da formação.

### 5.1.2 FÁCIES Fp

“Argilito laminado”: Paz & Rosseti (2001)

“*Laminated argillite*”: Rosseti *et al.* (2004)

*Diagnose.* – Folhelho cinza amarelado a marrom amarelado (5Y 8/1, 10YR 6/2), macrofossilífero, no qual se registrou a presença ostracodes e gastrópodes, estes em níveis mais restritos (Estampa II).

*Interpretação.* – Decantação de terrígenos finos em ambiente subaquoso de baixa enegria, anóxico–disóxico.

*Discussão.* – Esta fácies ocorre com frequência em ambos os poços (29%), mais particularmente na parte superior do intervalo de estudo (115–139 m no poço 1-UN-24-PI e 88–112 m no poço 1-UN-32-PI).

A menor preservação da matéria orgânica neste caso, é indicada pela coloração mais clara em comparação a fácies descrita anteriormente (Fp), bem como a presença de fósseis de ostracodes e gastrópodes, que permitem sugerir um ambiente com uma taxa de oxigenação pouco mais elevada do que o formador da fácies Fp (*cf.* Paz & Rossetti, 2004).

No poço 1-UN-24-PI, esta fácies apresenta pirita em escala macroscópica ocorrendo em alguns horizontes discretos e gastrópodes na profundidade de 118–119,5 m. Gastrópodes também ocorrem na profundidade 88–94,1 m.

Esta fácies deve distribuir-se no intervalo geoquímico 5 de Rodrigues (1995), onde dados indicam um ambiente predominantemente óxico, inadequado à preservação da matéria orgânica. Neste intervalo, o maior aporte de matéria orgânica derivada de vegetais superiores, indicam um aumento da umidificação paleoclimática.

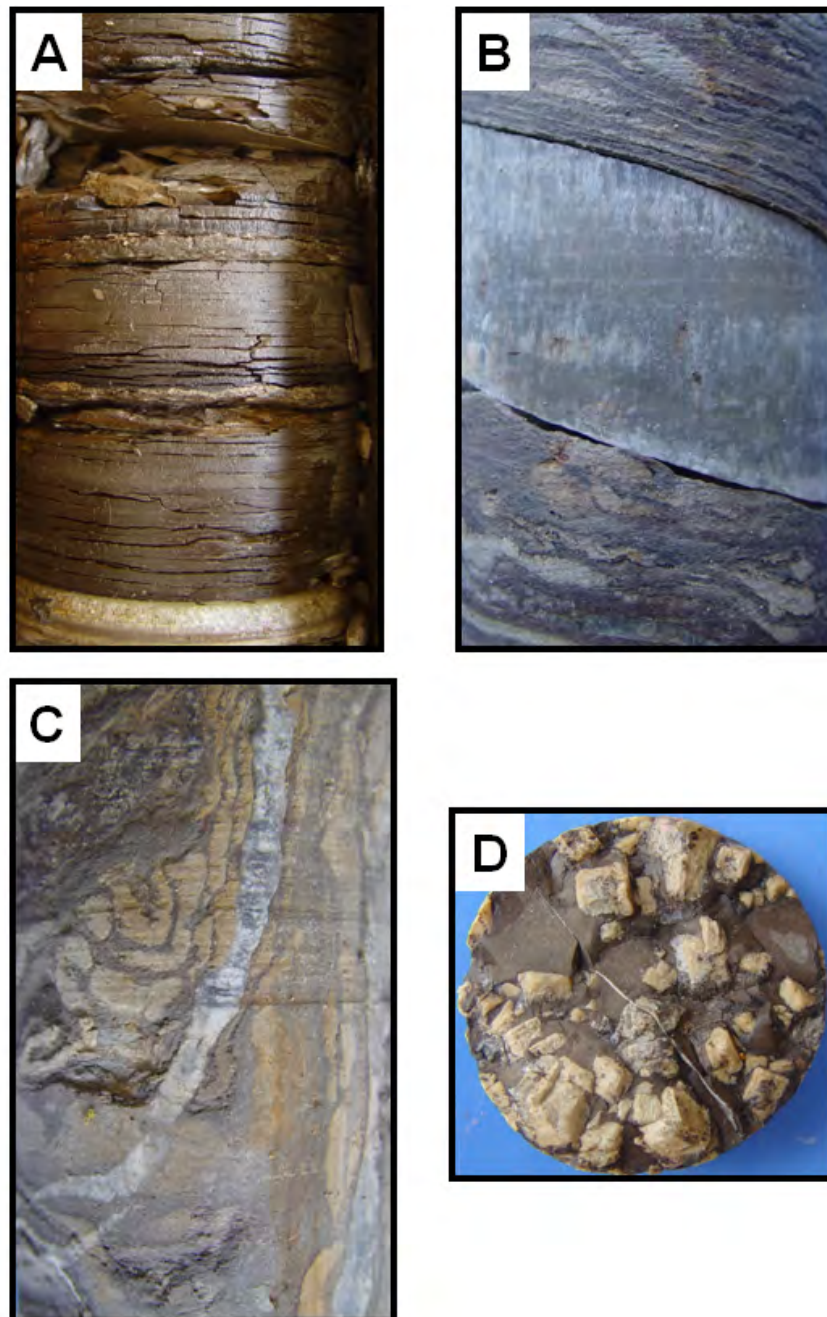
## ESTAMPA I

Figura A - Aspecto da fácies Fe, exibindo folhelho betuminoso laminado com uma intercalação de uma lâmina de carbonato. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 151,90m.

Figura B - Aspecto da fácies Fe, exibindo folhelho interlaminado com carbonatos e gipsita. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 118,60m.

Figura C - Aspecto da fácies Fe, exibindo folhelho betuminoso interlaminado com carbonatos, dobras convolutas, além de estruturas de falhas e fraturas preenchidas por anidrita. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 118,00m.

Figura D - Aspecto da fácies Fe, exibindo pseudomorfos de anidrita. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 175,00m.



0 2cm



## ESTAMPA II

Figura A - Aspecto da fácies Fp, exibindo folhelho com pouca fissilidade devido a interlaminação de carbonatos. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 74,00m.

Figura B - Aspecto da fácies Fp, exibindo maior fissilidade pela baixa concentração de carbonatos. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 98,80 m.

Figura C - Aspecto da fácies Fp, exibindo macrofóssil (gastrópode). Poço 1-UN-32-PI, profundidade 90,20m.

Figura D - Aspecto da fácies Fp, exibindo concentração de conchas de ostracodes fóssil. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 125,40m.



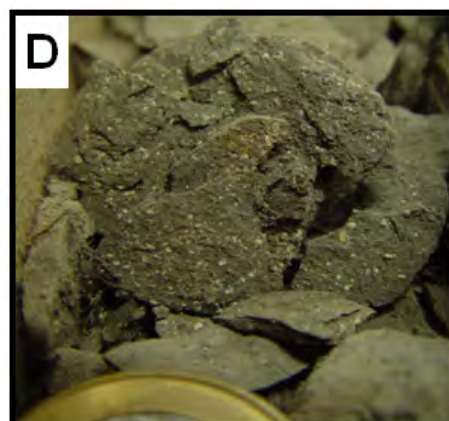
0 5cm



0 5cm



0 2cm



0 2cm

### 5.1.3 FÁCIES Sc

*Diagnose.* – Siltito argiloso calcífero de cores cinza alaranjado a cinza avermelhado (10YR 7/4, 10R 4/2), com interlaminação (horizontal) de arenito muito fino e estruturas de greta-de-ressecamento (Estampa III).

*Interpretação.* – Processos de tração fraca e decantação em ambiente subaquoso de baixa energia, com exposição subaérea cíclica.

*Discussão.* – Esta fácies ocorre em uma frequência de 10% em ambos os poços (1-UN-24-PI e 1-UN-32-PI), distribuída ao longo do perfis, porém mais particularmente na base e no topo.

A interlaminação de siltes e areias indica flutuação de energia, porém baixa. O fluxo gerador pode ser interpretado como hiperpicnal distal, onde predomina a decantação sobre tração, ou hipopicnal, tipicamente decantativo. As gretas-de-ressecamento são um atributo particularmente importante nesta fácies, revelando a exposição subaérea, periódica, dos antigos sedimentos.

### 5.1.4 FÁCIES Ao

*Diagnose.* – Arenito fino de cor marrom amarelado pálido a cinza médio (10YR 6/2, N5), com laminação cruzada por onda (*wave-ripple cross lamination*) em acamamentos *wavy* e *flaser*, além de detritos vegetais (Estampa IV).

*Interpretação.* – Aporte de terrígeno macraclástico (fluxo trativo), reelaborado por fluxo oscilatório (onda).

*Discussão.* – Esta fácies ocorre com pouca frequência (6%), mais particularmente na base e no topo de ambos os poços estudados (1-UN-24-PI e 1-UN-32-PI). Estratificação cruzada ondulada (*hummocky-cross stratification*) pode ocorrer nesta fácies. Todavia esta foi observada apenas na profundidade 164,5 m do poço 1-UN-32-PI.

A ação de ondas, gerando ondulações simétricas de pequeno porte, como observada nos testemunhos (de pequeno diâmetro), pode ser associada à lâmina d'água rasa; enquanto que a presença de detritos vegetais, à proximidade de áreas continentais emersas. A ação de ondas de tempestade é um evento possível.

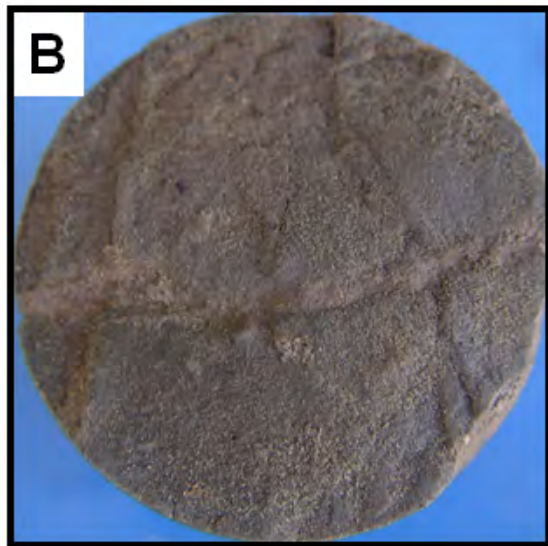


## ESTAMPA III

Figura A - Aspecto da fácies Sc, exibindo interlaminação de siltito com arenito fino e gretas de ressecamento. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 157,80 m.

Figura B - Aspecto da fácies Sc, exibindo greta de ressecamento em vista de topo. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 157,80 m

Figura C - Aspecto da fácies Sc, exibindo interlaminação de siltito e arenito muito fino com greta de ressecamento. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 157,80 m



0 2cm

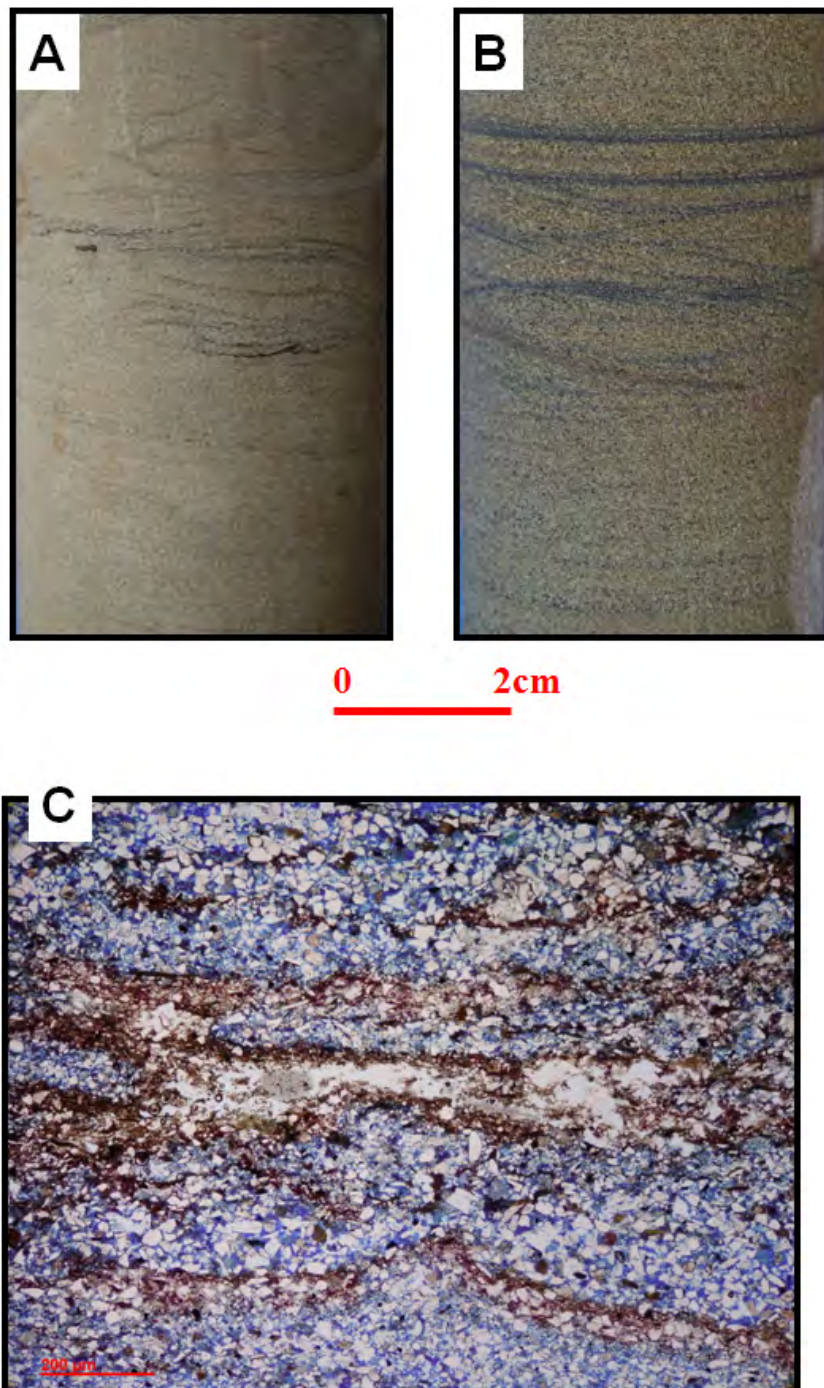
A red horizontal line representing a scale bar, with the numbers '0' and '2cm' at its ends.

## ESTAMPA IV

Figura A - Aspecto da fácies Ao, exibindo acamamento flaser e detrito de matéria orgânica. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 164,40 m.

Figura B - Aspecto da fácies Ao, exibindo laminação cruzada por onda e acamamento flaser. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 186,60 m.

Figura C – Aspecto em lâmina petrográfica da fácies Ao, exibindo laminação com Drape de lama interlaminado a intervalos de fluxo mais trativo. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 113,80 m.



Foram realizados ensaios petrofísicos de permeabilidade em 4 amostras desta fácies, onde buscou-se realizar a média das medidas encontradas (Tabela 5.1).

**Tabela 5.1.** Dados petrofísicos da fácies Ao.

Amostra	Poço	Profundidade (m)	Permeabilidade KI (mD)
R3	1-UN-24-PI	113,8	41,5
R14	1-UN-32-PI	164,5	3,66
R17	1-UN-24-PI	180	10,68
R19	1-UN-24-PI	186,25	64,85

#### 5.1.5 FÁCIES Ac

*Diagnose.* – Arenito fino a médio, argiloso, de cor variando de cinza amarelado a vermelho médio (5Y 8/1, 5R 4/6), com laminação cruzada em acamamento *flaser* e *wavy*, além de estruturas convolutas e de fluidização (Estampa V).

*Interpretação.* – Aporte de terrígeno depositado por corrente subaquosa em regime de fluxo inferior, alternada com decantação, e deformado pelo escape de fluidos.

*Discussão.* – Esta fácies ocorre com frequência nos dois poços estudados (10%), sendo encontrado na base e no topo do poço 1-UN-32-PI e, mais particularmente, na parte superior do poço 1-UN-24-PI.

Estruturas deformacionais, como as fluidizações e convoluções observadas, podem ter acusadas variadas, tais como alta taxa de sedimentação (inclusive pelo aporte súbito de uma massa grande de sedimento), instabilidade geomecânica do depósito, abalos sísmicos *etc.*

Esta fácies pode apresentar clastos de gipsita, arenito e calcilutito em locais onde sua base é erosiva, mais particularmente na profundidade de 117 m do poço 1-UN-32-PI.

Na Formação Codó, Rosseti (2001) sugere a ação de sismos para explicar estruturas deformacionais em fácies psamíticas. Todavia, na presente situação acredita-se que a sobrecarga sedimentar de outras fácies psamíticas acima desta

tenham induzido o aumento da poropressão, resultando no escape de fluidos e convolução de estratos.

Foram realizados ensaios petrofísicos de permeabilidade em 4 amostras desta fácies, onde buscou-se realizar a média das medidas encontradas (Tabela 5.2).

**Tabela 5.2.** Dados petrofísicos da fácies Ac.

Amostra	Poço	Profundidade (m)	Permeabilidade KI (mD)
R1	1-UN-24-PI	105,7	3,33
R1	1-UN-32-PI	68,6	240,67
R3	1-UN-32-PI	79	3,69
R4	1-UN-32-PI	116,20	695

#### 5.1.6 FÁCIES Ac(c)

*Diagnose.* – Arenito fino a médio de marrom amarelado pálido (10YR-6/2), com laminação cruzada cavalgante (*climbing ripple*) (Estampa VI).

*Interpretação.* – Aporte de terrígenos depositados por fluxo corrente trativa desacelerante, em regime de fluxo inferior, em ambiente subaquoso.

*Discussão.* – Esta fácies ocorre com baixa frequência (3%), mais particularmente no topo dos perfis estudados, restrita ao intervalo 110,2–111,5 m do poço 1-UN-24-PI e 63–66 m do poço 1-UN-32-PI.

A formação desta fácies requer uma abundante quantidade de material em suspensão durante a deposição do sedimento pela corrente trativa, à medida em que o fluxo tem sua velocidade reduzida gradativamente. Tal fluxo pode ser interpretado como do tipo hiperpicnal.

#### 5.1.7 FÁCIES cA

Fácies Co (calcário ostracodal): Paz & Rosseti (2001)

Fácies Mpl (*massive mudstone–packstone*): Rosseti *et al.* (2004)

*Diagnose.* – Calcarenito (*grainstone*) fino a médio, ostracodal, em acamamento wavy, formado pela interlaminação de pelito e ostracodes, dando um aspecto rítmico à fácies. As lâminas de calcarenito apresentam laminação cruzada. Sua cor, devido à laminação, varia entre cinza escuro e cinza claro (N3, N7) (Estampa VII).



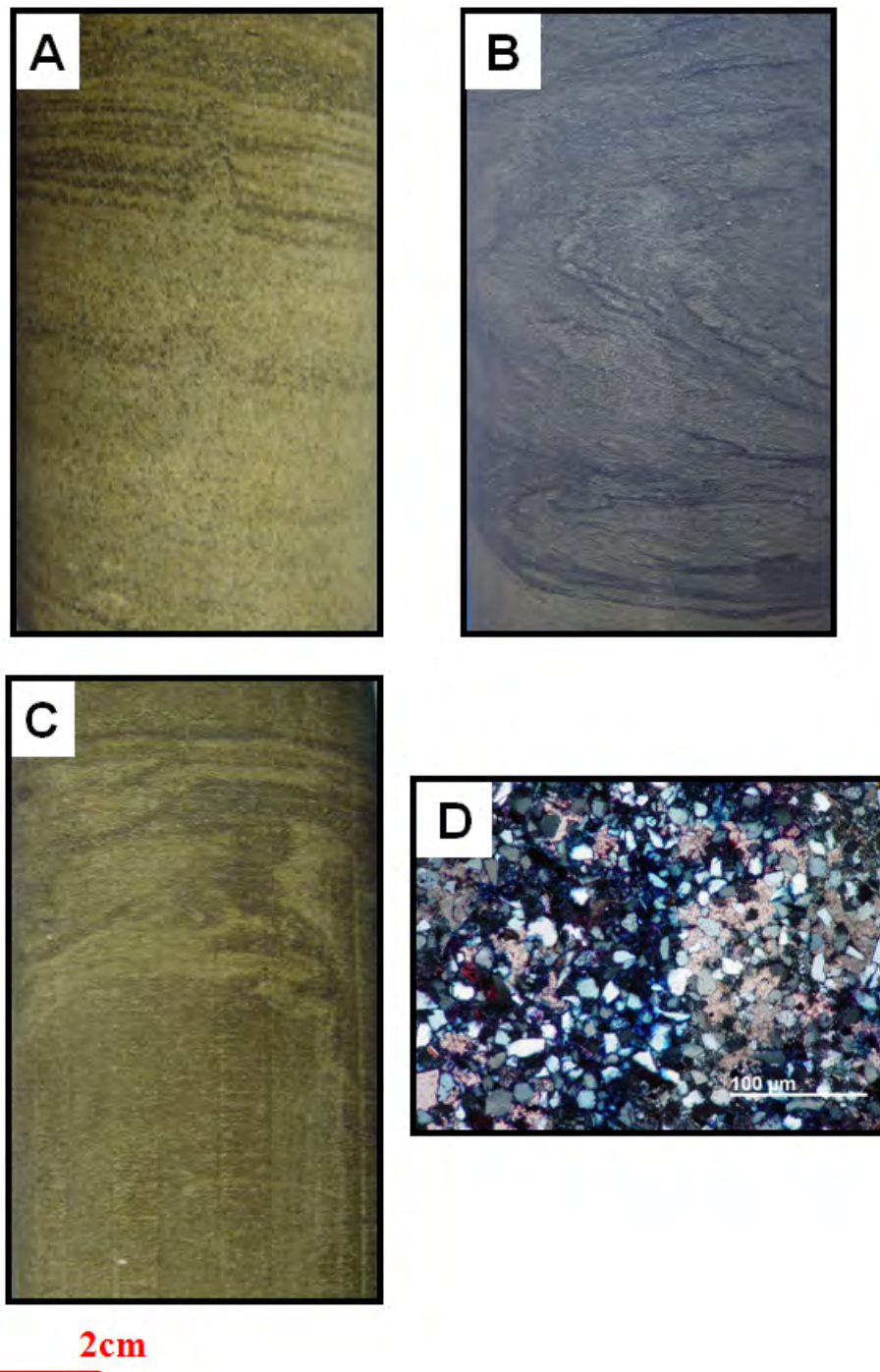
## ESTAMPA V

Figura A - Aspecto da fácies Ac, exibindo laminação cruzada deformada pela fluidização. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 105,70 m.

Figura B - Aspecto da fácies Ac, exibindo estrutura deformacional convoluta, provocada pela escape de fluidos. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 74,50 m.

Figura C - Aspecto da fácies Ac, exibindo laminação cruzada mascarada pela fluidização. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 111,30 m.

Figura D - Aspecto em lâmina petrográfica da fácies Ac (nícóis x), exibindo grãos de quartzo cimentados por calcita espática. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 79 m.

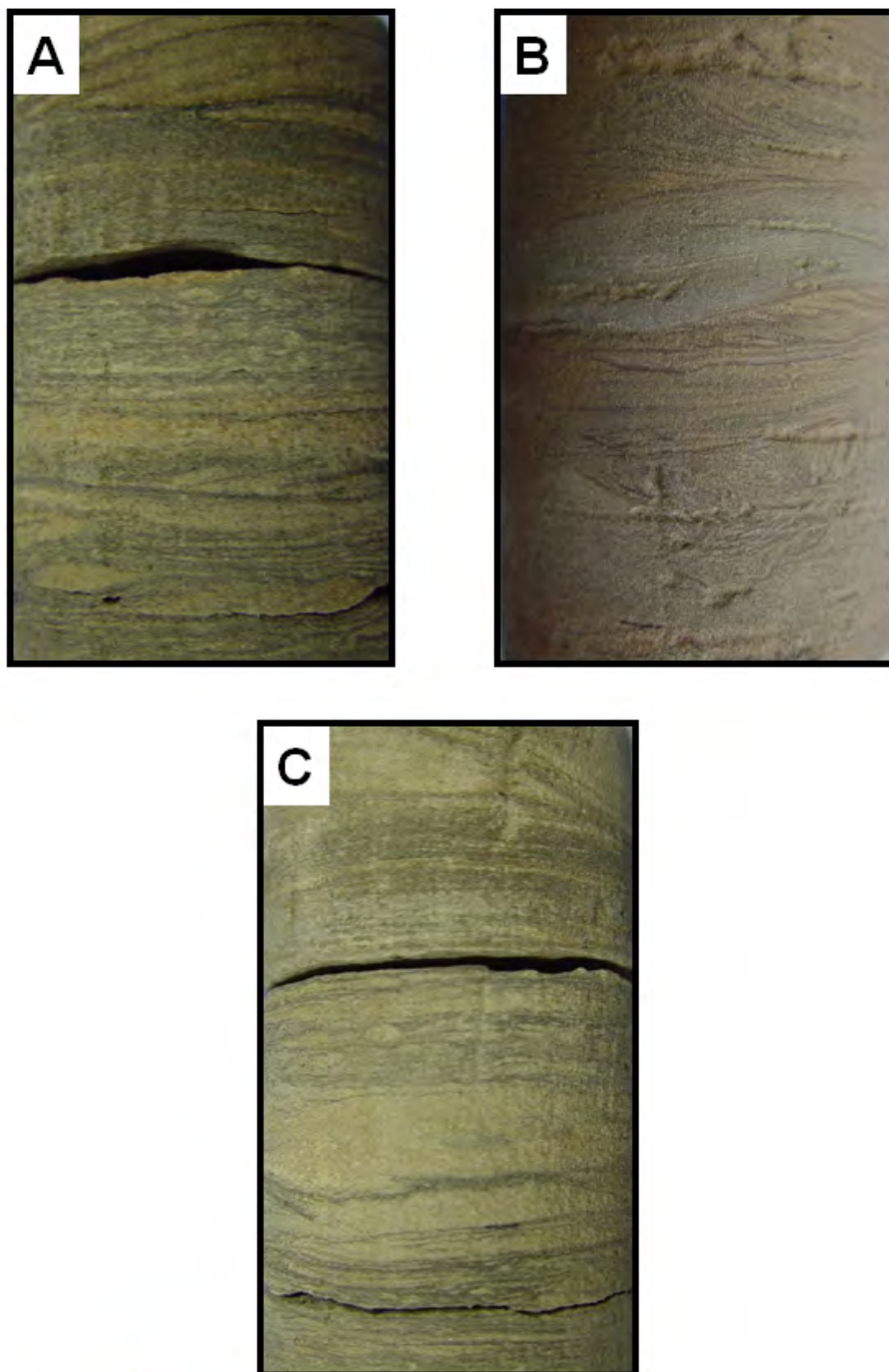


## ESTAMPA VI

Figura A - Aspecto da fácies Ac(c), exibindo laminação cruzada cavalgante no topo. Notar o intervalo médio em que o acamamento wavy encontra-se com moderado grau de bioturbação. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 110,60 m..

Figura B - Aspecto da fácies Ac(c), exibindo laminação cruzada cavalgante, sendo possível notar a interlaminação de arenito fino superior. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 130,60 m.

Figura C - Aspecto da fácies Ac(c), exibindo acamamento wavy, bioturbação de baixa a moderada e laminação cruzada cavalgante no topo. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 64,60 m.

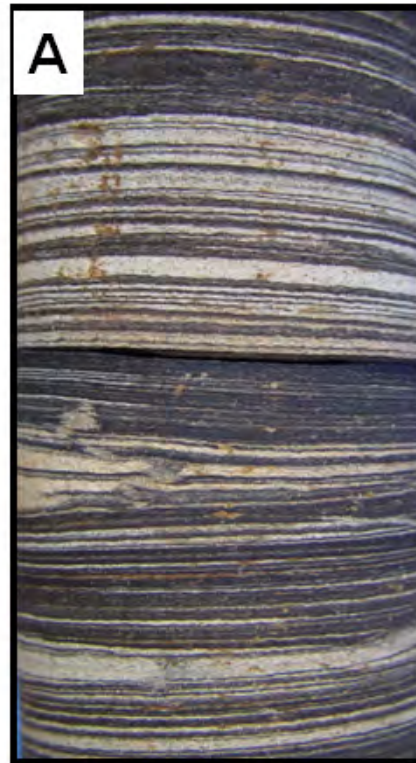


0 2cm

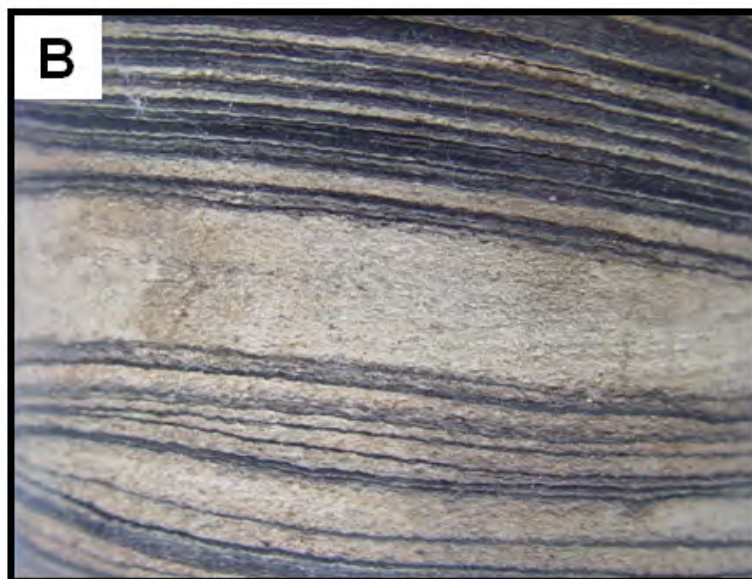
## ESTAMPA VII

Figura A – Aspecto da fácies cA, exibindo a intelaminação de pelito com ostracodito. Notar o caráter rítmico desta fácies pela variação das cores claras (ostracodito) e escuras (pelito). Poço 1-UN-24-PI, profundidade 147,55 m.

Figura B - Aspecto da fácies cA, exibindo aproximação da lâmina composta por conchas de ostracodes. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 127,60 m.



0 2cm



0 2cm

*Interpretação.* – Decantação de terrígenos finos em ambiente subaquoso de baixa energia, anóxico a óxico, alternado com fluxos de correntes trativas sob influência de ondas.

*Discussão.* – A fácies cA, de pouca frequência em ambos os poços (0,5%), ocorre na profundidade de 141,1–141,4 m do poço 1-UN-24-PI e 127,2–127,7 m do poço 1-UN-32-PI.

Esta fácies aparece em ambos os poços precedendo a deposição da fácies G, o que caracteriza um aumento gradativo da salinidade, propício ao desenvolvimento da fauna de ostracodes. A decantação de terrígenos finos sugere um ambiente de baixa energia, alternado a períodos sob a ação de ondas em um ambiente marginal subaquoso, no qual há a reelaboração de conchas de ostracodes, reveladas por laminações cruzadas.

### 5.1.8 FÁCIES C

Fácies Cgl: Baptista (1992)

*Diagnose.* – Conglomerado fino, polimítico, suportado por matriz, maciço ou imbricado, de cor variando entre marrom amarelado pálido a amarelo sujo (10YR 6/2, 5Y 6/4) (Estampa VIII).

*Interpretação.* – Deposição por processos subaquosos de alta energia, por fluxo gravitacional (fluxo de detritos) ou, mais provavelmente, trativo (corrente).

*Discussão.* – Composicionalmente, os grânulos e seixos desta fácies incluem folhelho, arenito, calcário, gipsita e quartzo.

Esta fácies ocorre com baixa frequência (2%), com presença mais expressiva no poço 1-UN-24-PI, na profundidade de 139–141,1 m, precisamente acima de camadas da fácies G. Esta fácies apresenta variação lateral para a fácies Ac para o intervalo acima da gipsita no poço 1-UM-32-PI na profundidade de 112–117 m. Pela natureza do testemunho observado (pequeno diâmetro) e pela natureza muito grossa da fácies, é possível que a estrutura sedimentar, identificada como maciça, seja mais provavelmente uma estratificação cruzada. Neste caso, a interpretação de processos trativos (corrente) de energia alta é a mais apropriada.

A natureza polimítica desta fácies, incluindo clastos sedimentares e extrabaciais, denota poder erosivo dos processos sedimentares que se relacionam ao seu evento de acumulação.



### 5.1.9 FÁCIES G

Fácies GI (*laminated gypsum*): Rosseti *et al.* (2004)

Fácies Gm (*massive/macronodular gypsum*): Rosseti *et al.* (2004)

*Diagnose.* – Gipsita com estruturas de rosetas, laminação-paralela, maciça, dente-de-cão, estruturas fibrosas e sua cor variando entre marrom amarelado claro a cinza oliva (10YR 4/2, 5Y 4/1) (Estampa IX).

*Interpretação.* – Precipitação química de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) em ambiente subaquoso efêmero, de baixa energia, com pouca influência de sedimentação clástica.

*Discussão.* – Esta fácies é comum (10%) nos dois poços estudados, sendo mais expressiva nas profundidades de 141,3–148 m do poço 1-UN-24-PI e 117,3–127,3 m do poço 1-UN-32-PI.

Esta fácies é correlacionável às fácies GI e Gm, evaporíticas, descritas por Rossetti *et al.* (2004). A fácies GI consiste de laminação paralela tipicamente formada pela alternância de camadas claras e escuras, nas quais as claras são composta por gipsita cristalina fibrosa e, as escuras, por micronódulos de gipsita distribuídos em uma matriz de folhelho negro, produto da flutuação do nível aquoso no qual a fácies foi formada. A fácies Gm consiste em corpos sem estruturas em contato com a gipsita laminada, cuja gênese é atribuída ao deslocamento pós-deposicional do sal. Estruturas como dente-de-cão e roseta, são atribuídas a processos diagenéticos ocorridos nos evaporitos pela dissolução e recristalização de tais sedimentos.

### 5.1.10 FÁCIES B

“Brecha”: Batista *et al.* (1992)

Fácies B (*breccia*): Rosseti *et al.* (2004)

*Diagnose.* – Brecha intraformacional maciça, composta por fragmentos de folhelho de cores cinza-amarelado clara e escuro (5Y 8/1). Alguns destes fragmentos encontram-se em posição vertical/subvertical, cimentados por evaporitos (carbonatos e anidritas) (Estampa X).

*Interpretação.* – Decantação de terrígenos seguido de exposição subaérea e dissolução dos minerais evaporíticos subjacentes.

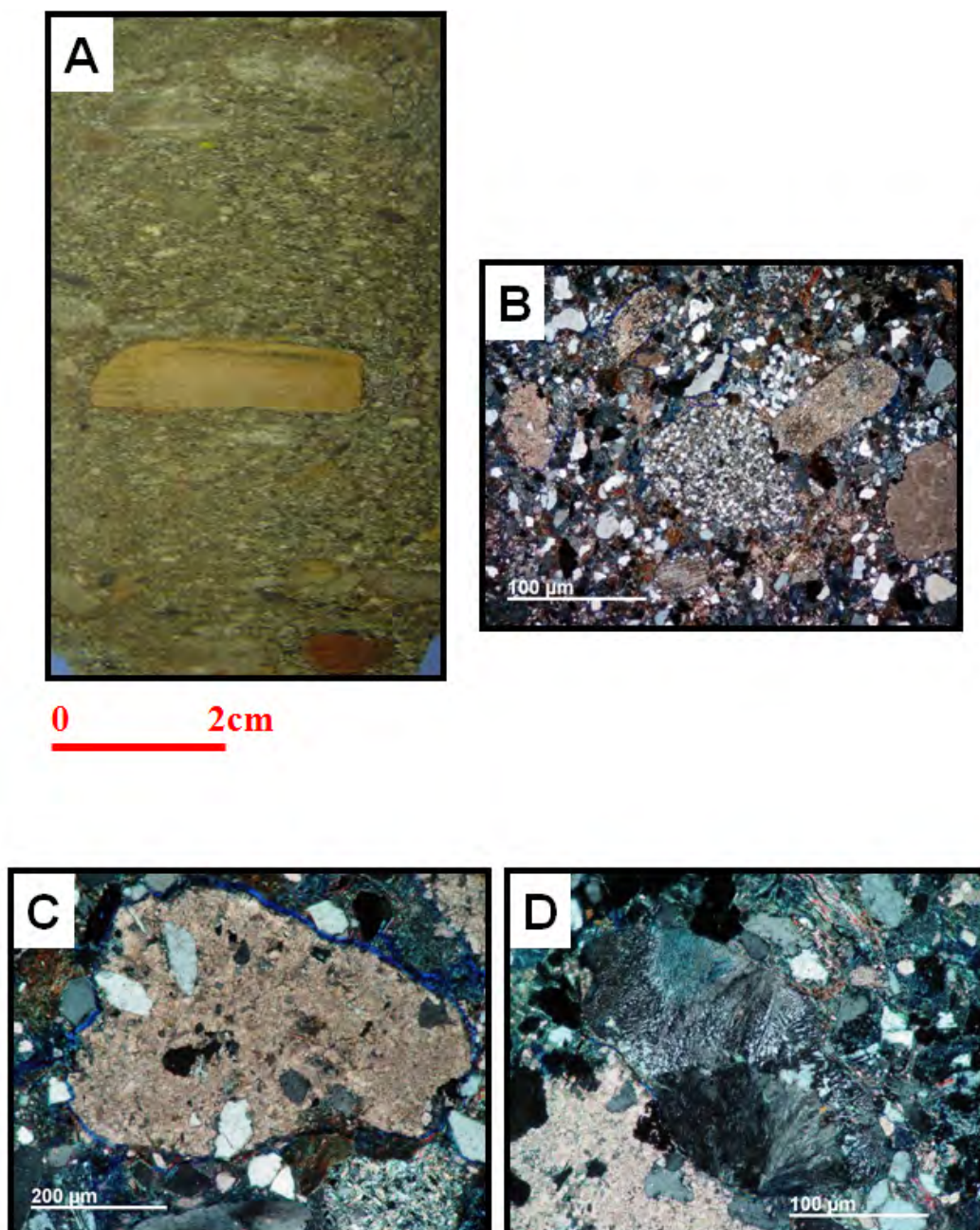
## ESTAMPA VIII

Figura A - Aspecto da fácies C, exibindo conglomerado matriz suportado. Notar um fragmento subarredondado de calcita no centro da foto e um lítico na base. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 140,10m.

Figura B - Aspecto em lâmina petrográfica da fácies C, exibindo grãos de calcissiltito, quartzo, fragmentos líticos e carbonatos. Notar no centro da foto a presença de um grão de arenito bem cimentado por quartzo. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 139,40 m.

Figura C - Aspecto em lâmina petrográfica da fácies C, exibindo detalhe de um grão de calcilutito recristalizado substituindo os fragmentos de gipsita inclusos na matriz. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 139,40 m.

Figura D – Aspecto em lâmina petrográfica da fácies C, exibindo detalhe de um grão de granófiro (Quartzo + K-feldspato) com porosidade intragranular. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 139,40 m.



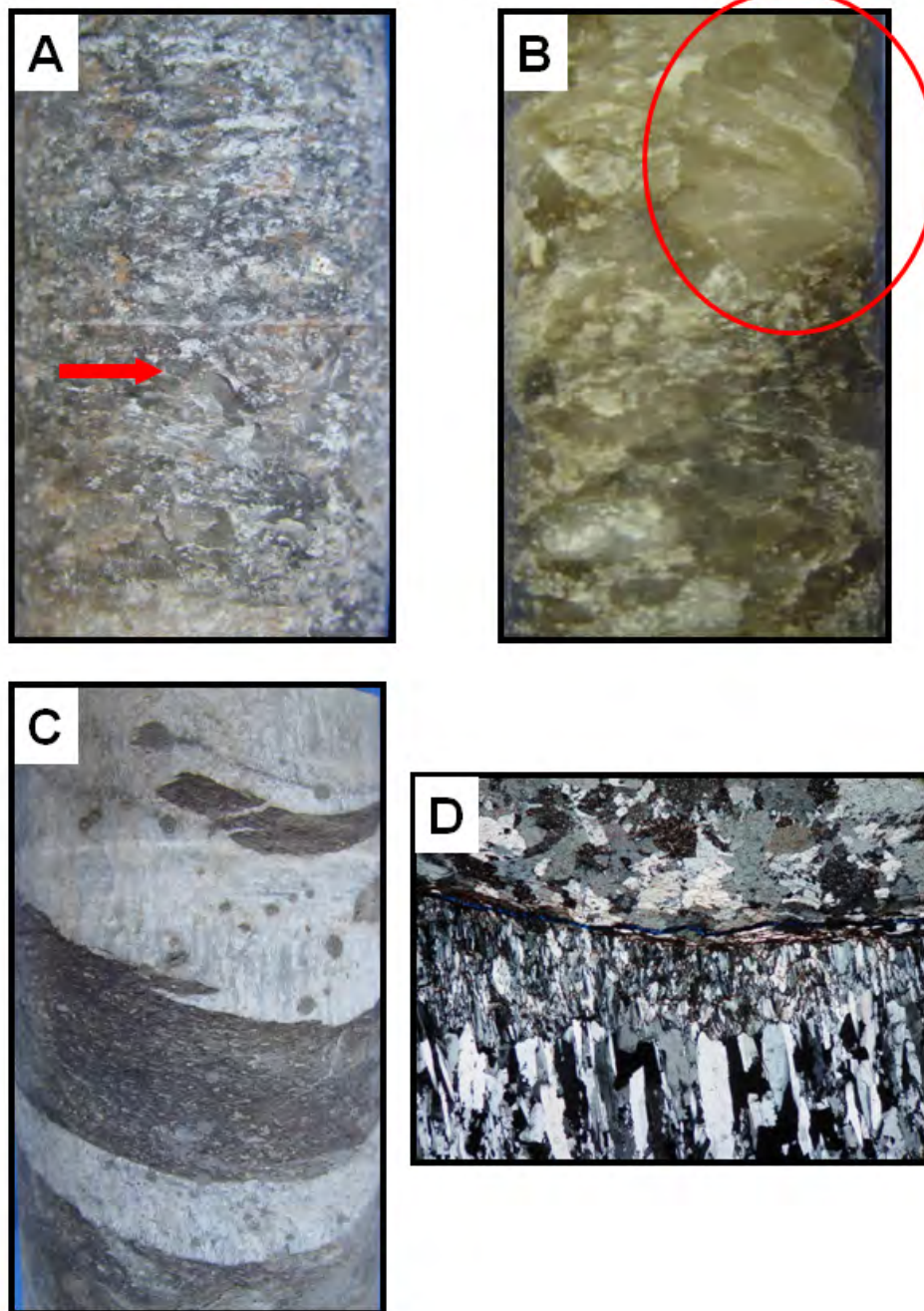
## ESTAMPA IX

Figura A - Aspecto da fácies G, exibindo gipsita recristalizada com estruturas de dente-de-cão, conforme a indicação da seta. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 146,30 m.

Figura B - Aspecto da fácies G, exibindo gipsita recristalizada com estrutura de roseta, conforme o círculo em vermelho. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 143,00 m

Figura C - Aspecto da fácies G, exibindo gipsita interlaminada com pelito da fácies Fe. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 123,60 m

Figura D – Aspecto em lâmina petrográfica da fácies G, exibindo os ciclos de crescimento dos cristais de gipsita. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 122,00 m.



0 2cm



ESTAMPA X

Figura A - Aspecto da fácies B, exibindo brecha intraformacional composta por fragmentos de pelitos verticalizados. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 156,00 m.

Figura B - Aspecto da fácies B, exibindo brecha intraformacional composta por fragmentos de pelitos com cimentação de anidrita e carbonatos. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 156,00 m.



*Discussão.* – Esta fácies ocorre somente no poço 1-UN-32-PI, no intervalo 155,50–156,80 m, e tem sua gênese determinada pela contração e expansão do sedimento pelítico superficial, através da dissecação repetida e a precipitação do cimento durante extensos períodos de exposição subaérea, geralmente associado a condições vadosas marginais (cf. Rossetti *et al.*, 2004).

#### 5.1.11 FÁCIES cL

*Diagnose.* – Calcilutito de cor laranja acinzentado a cinza médio (10YR 7/4, N5), com laminações de argila e fenestras (*vugs*) preenchidas por anidrita (Estampa XI).

*Interpretação.* – Precipitação química de micrita em ambiente subaquoso raso, efêmero, de baixa energia, associado à decantação de terrígenos microclásticos, seguida de dissolução por exposição subaérea (carstificação).

*Discussão.* – Esta fácies possui pouco representatividade (3%) e apresenta-se peculiarmente no topo da camada de gipsita (fácies G) em ambos os poços estudados.

A porosidade fenestral é causada pela variação da lâmina d'água, chegando à exposição do substrato e dissolução do carbonato provavelmente na zona vadosa.

#### 5.1.12 FÁCIES cS

*Diagnose.* – Calcissiltito de cor laranja acinzentado a cinza amarelado (10YR 7/4, 5Y 8/1), interlaminado com pelito, apresentando greta-de-diastrase (Estampa XII).

*Interpretação.* – Precipitação química associada à decantação de terrígenos em ambiente subaquoso, com variação de salinidade.

*Discussão.* – Esta fácies é comum (8%) nos dois poços estudados, sendo mais comumente encontrada próxima a base da gipsita (fácies G) em ambos os poços e no topo da formação estudada.

A fácies cS consiste de laminação paralela tipicamente formada pela alternância de camadas claras e escuras, com a presença de greta de diastrase. Tais estruturas são um atributo particularmente importante nesta fácies, produto da

## ESTAMPA XI

Figura A - Aspecto da fácies cL, exibindo calcilutito com “vugs” preenchidos por anidrita. Esta estrutura indica exposição subaérea. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 141,30 m.

Figura B - Aspecto da fácies cL, exibindo estrutura flaser interlaminado com calcilutito. Poço 1-UN-24-PI, profundidade 163,80 m.

Figura C - Aspecto da fácies cL, exibindo estrutura de vênulas de anidrita. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 115,00 m.



0 2cm

## ESTAMPA XII

Figura A - Aspecto da fácies cS, exibindo calcissiltito interlaminado com pelitos e estrutura de greta de ressecamento. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 134,30 m.

Figura B - Aspecto da fácies cS, exibindo calcissiltito interlaminado com pelitos e estrutura de greta de diastase. Poço 1-UN-32-PI, profundidade 134,45 m



0 2cm

flutuação do nível aquoso no qual a fácies foi formada, revelando exposição subaérea, periódica, dos antigos sedimentos.

## 5.2 Sucessão de fácies

Foram descritas seis sucessões de fácies, sumarizadas no Quadro 5.2, das quais quatro terrígenas (SF1, SF4, SF5 e SF6), uma terrígeno-evaporítica (SF2) e uma evaporítica (SF3), as quais se inserem em sistemas deposicionais lacustre, lacustre hipersalino e *sabkha* (Figura 5.2).

### 5.2.1 SUCESSÃO DE FÁCIES 1 (SF1) – lacustre marginal hipersalino

*Diagnose.* – Sucessão das fácies Ac–Ao–Sc–Fe em ciclos de afinamento granulométrico (Estampa XIII, anexos A e B).

*Interpretação.* – Um ciclo desta sucessão mostra a passagem de um ambiente fluvial (fácies Ac) para um lacustre marginal de pequena lâmina d'água ou subexposto (fácies Ao e Sc) para um ambiente mais fundo, hipersalino e anóxico (fácies Fe). A sobreposição desses ciclos é interpretado como resultante de eventos de regressão forçada seguida de afogamento em um sistema lacustre (hipersalino) (Figura 5.1).

*Discussão.* – SF1 pode ser bem observada nas profundidades de 179–187 m no poço 1-UN-24-PI e 163–170 m no poço 1-UN-32-PI, com uma espessura aproximada de 7,5 m. Nesta situação, é marcante a presença da fácies Fe, que denota contexto redutor do paleoambiente lacustre, hipersalino. Cada ciclo de fácies apresenta espessuras médias da ordem de 1,4 m (variação de 0,5–4,5 m). A sucessão de ciclos de afinamento neste intervalo basal (ca. 7,5 m) apresenta igualmente padrão geral de afinamento granulométrico, denotando uma tendência transgressiva do sistema lacustre.

### 5.2.2 SUCESSÃO DE FÁCIES 2 (SF2) – lacustre hipersalino

*Diagnose.* – Sucessão das fácies Fe–cL/cS–G/Sc em ciclos, em parte, de afinamento granulométrico (Estampa XIV, anexos A e B).

*Interpretação.* – Um ciclo desta sucessão mostra a passagem de fácies depositadas em ambiente lacustre hipersalino mais fundo (fácies Fe e cL) para mais



raso ( fácies cS, Sc e G), em uma situação de raseamento do paleoambiente (Figura 5.1).

*Discussão.* – A SF2 pode ser observada nas profundidades de 148,8–179 m no poço 1-UN-24-PI, onde cada ciclo apresenta em média espessuras de 3 m (variação de 0,5–7m); e na profundidade de 128–157,5 m no poço 1-UN-32-PI, onde cada ciclo apresenta em média espessuras de 1,6 m (variação de 0,3–3,5 m). Nesta situação, presença da fácies Fe nos ciclos é ainda mais marcante que na SF1, o que igualmente denota contexto redutor do paleoambiente lacustre, hipersalino.

A fácies Fe apresenta uma carater betuminoso, pela preservação da matéria orgânica, mostrando as condições de anoxia existente na deposição dos sedimentos.

As fácies cL e G são característicos de um ambiente calmo sem aporte sedimentar de terrígenos, típicos de um sistema lacustre evaporítico. A exposição subaérea dos sedimentos depositados é evidenciada pela dissolução dos minerais evaporíticos subjacente que caracterizam a fácies B, que ocorre muito particularmente em um único horizonte no poço 1-UN-32-PI.

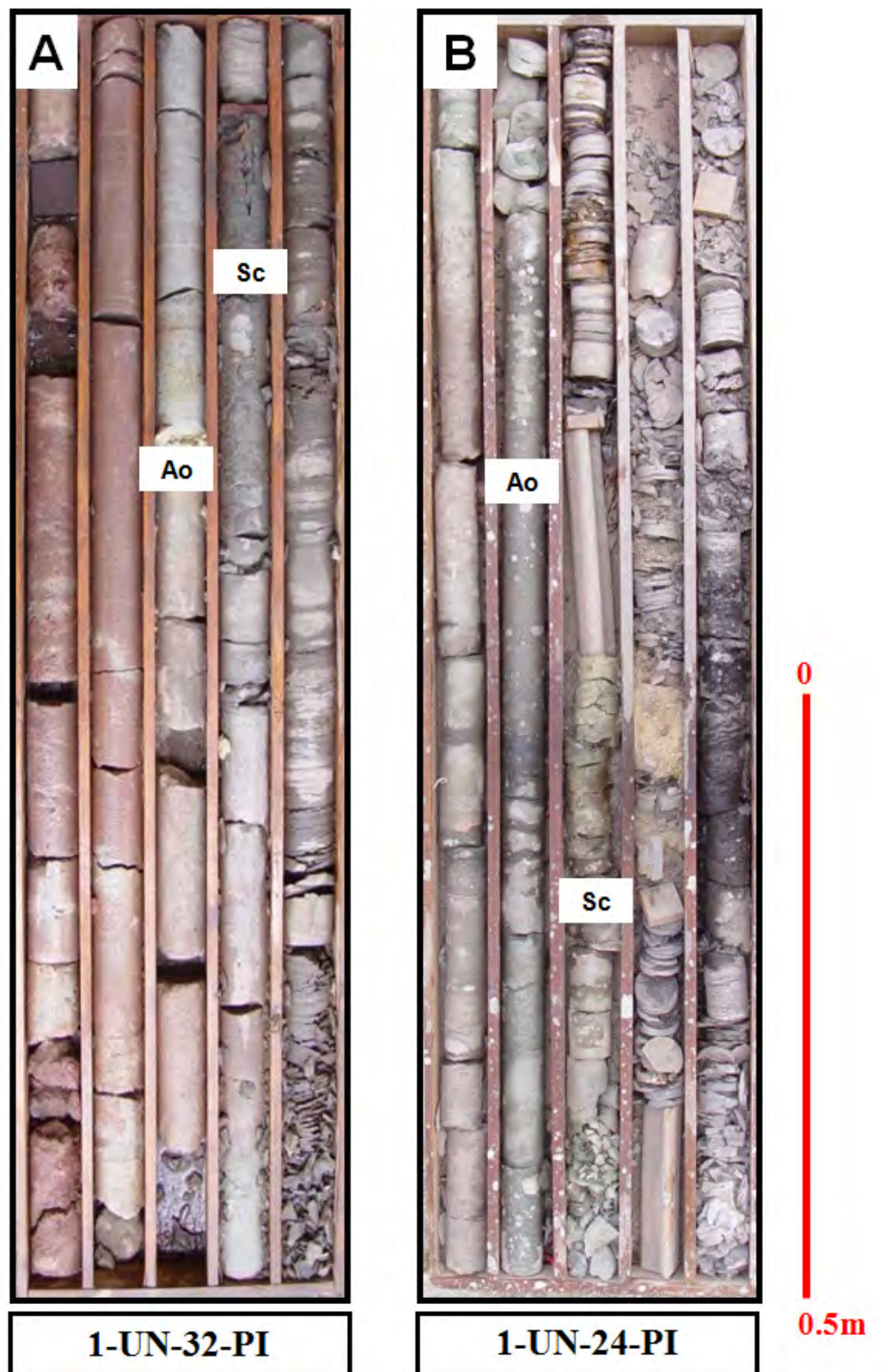
**Quadro 5.2.** *Resumo das sucessões de fácies analisadas.*

CÓDIGO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
<b>SF1</b>	Sucessão das fácies Ac–Ao–Sc–Fe em ciclos de afinamento granulométrico	Passagem de um ambiente fluvial (fácies Ac) para um lacustre marginal de pequena lâmina d'água ou subexposto (fácies Ao e Sc) para um ambiente mais fundo, hipersalino e anóxico (fácies Fe).
<b>SF2</b>	Sucessão das fácies Fe–cL/cS–G/Sc em ciclos, em parte, de afinamento granulométrico	Passagem de fácies depositadas em ambiente lacustre hipersalino mais fundo (fácies Fe e cL) para mais raso (fácies cS, Sc e G), em uma situação de raseamento do paleoambiente
<b>SF3</b>	Caracteriza-se pela sucessão de fácies cA–G–cL/Fe, predominando a fácies G	Conjunto de fácies refletindo um ambiente de <i>sabkha</i> .
<b>SF4</b>	Sucessão autoreflexiva de camadas das fácies Ac ou C	Depósitos fluviais psefíticos ou psamíticos, possivelmente associados a um sistema fluvial
<b>SF5</b>	Sucessão autoreflexiva de camadas Fp	Ampla lago de águas continentais com variação da salinidade, que favoreceu o desenvolvimento de uma fauna de ostracodes e gastrópodes.
<b>SF6</b>	Sucessão das fácies Ac–Ac(c)–Ao–Sc–Fp em ciclos de afinamento granulométrico	Passagem de um ambiente fluvial (fácies Ac e Ac(c)) para um lacustre marginal de pequena lâmina d'água ou subexposto (fácies Ac(c), Ao e Sc) para um ambiente mais fundo e subóxico–óxico (fácies Fe). Resultante de eventos de regressão forçada seguida de afogamento em um sistema lacustre, porém não hipersalino.

## ESTAMPA XIII

Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 1 (SF1) no poço 1-UN-32-PI, caixa 28. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).

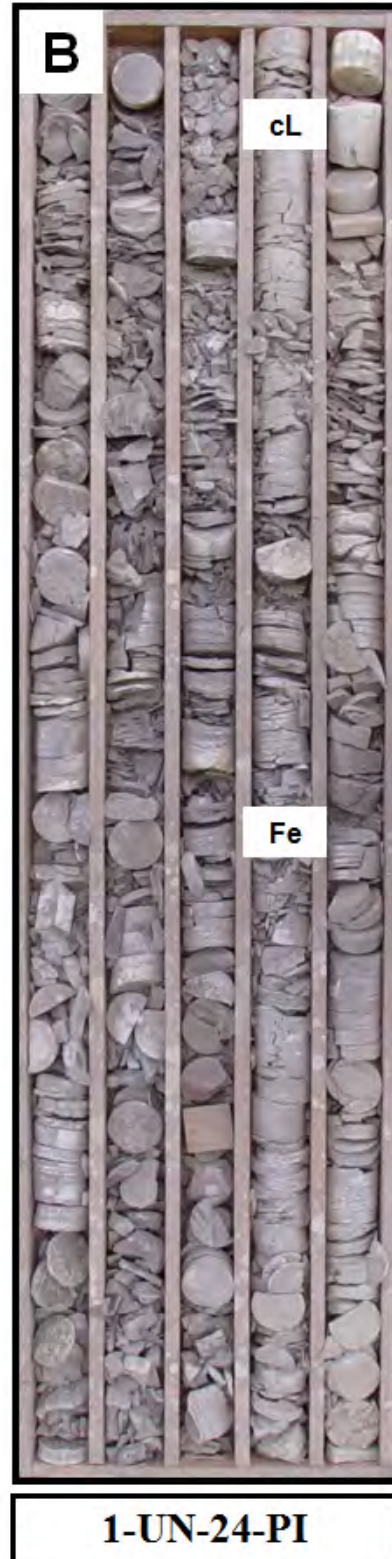
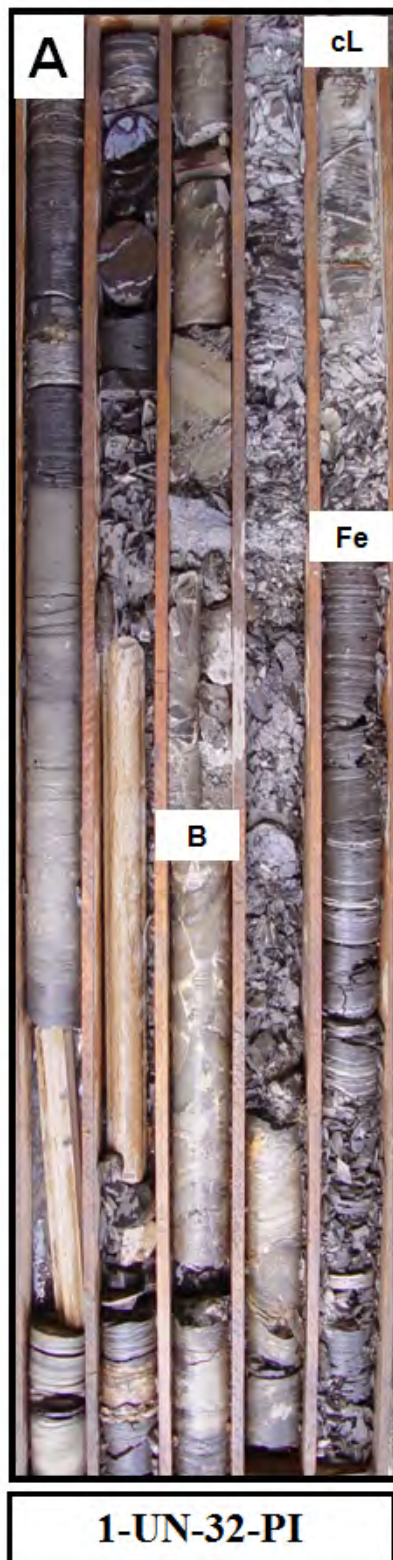
Figura B - Aspecto da sucessão de fácies 1 (SF1) no poço 1-UN-24-PI, caixa 26. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).



## ESTAMPA XIV

Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 2 (SF2) no poço 1-UN-32-PI, caixa 26 que inclui a fácies B. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).

Figura B - Aspecto da sucessão de fácies 2 (SF2) no poço 1-UN-24-PI, caixa 25. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).



0  
0.5m

### 5.2.3 SUCESSÃO DE FÁCIES 3 (SF3) – sabkha

*Diagnose.* – Caracteriza-se pela sucessão de fácies cA–G–cL/Fe, predominando a fácies G (Estampa XV, anexos A e B).

*Interpretação.* – Este conjunto de fácies reflete um ambiente de lagos efêmeros de *sabkha* (Figura 5.1).

*Discussão.* – A SF3 pode ser observada nas profundidades de 141,1–148,8 m no poço 1-UN-24-PI, com um ciclo de 7 m; e na profundidade de 117–128 m no poço 1-UN-32-PI, com um ciclo de 11 m.

A passagem da SF2 para esta sucessão é marcada por uma camada da fácies cA, caracterizada por um *grainstone* ostracodal, até começar a haver a precipitação química de evaporitos, representados pela fácies G. A abundância de ostracodes, em termos paleoecológicos, pode indicar o aumento de nutrientes paralelamente ao aumento da salinidade, o que pode ter levado a um ambiente estressante, onde apenas a fauna desses microorganismos proliferou, na ausência de predadores.

Com o aumento continuado da salinidade, o ambiente tornou-se finalmente evaporítico, inóspito para tais microorganismos. A fácies cL representa o momento de exposição subaérea dos sedimentos evaporíticos depositados, juntamente com o aporte de terrígenos em taxas muito baixas de acumulação (fácies Fe).

### 5.2.4 SUCESSÃO DE FÁCIES 4 (SF4) – fluvial

*Diagnose.* – Sucessão autoreflexiva de camadas das fácies Ac ou C (Estampa XVI, anexos A e B).

*Interpretação.* – Esta sucessão representa depósitos fluviais psefíticos ou psamíticos, possivelmente associados a um sistema fluvial (Figura 5.1).

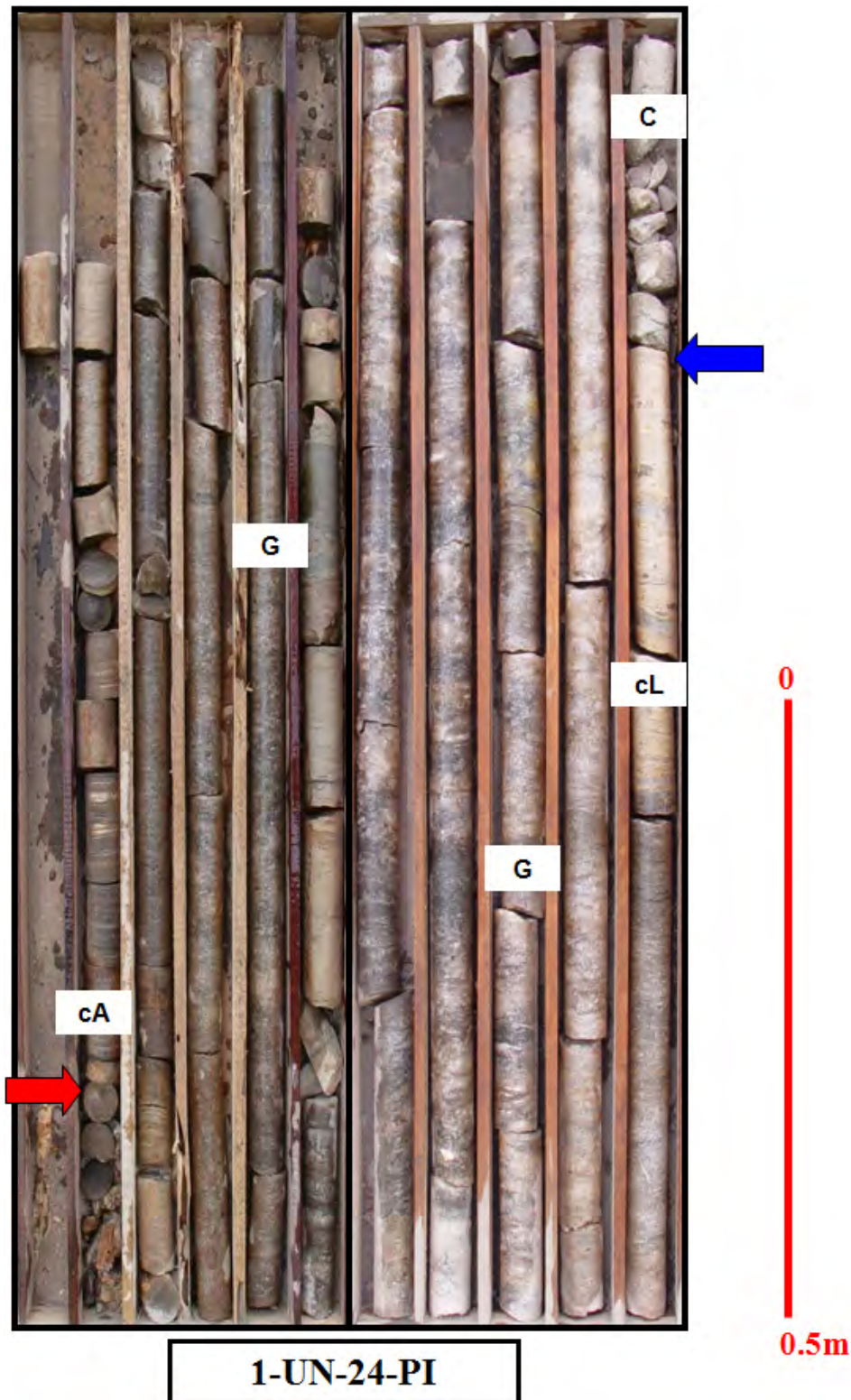
*Discussão.* – A SF4 pode ser observada nas profundidades de 139–141,1 m no poço 1-UN-24-PI, totalizando 2,1 m da fácies C; e na profundidade de 112–117 m no poço 1-UN-32-PI, totalizando 5 m da fácies Ac.

O registro dessa sucessão não é suficiente para poder se precisar um modelo deposicional fluvial. O padrão em “caixa” em ambos os perfis sugere um modelo fluvial entrelaçado.



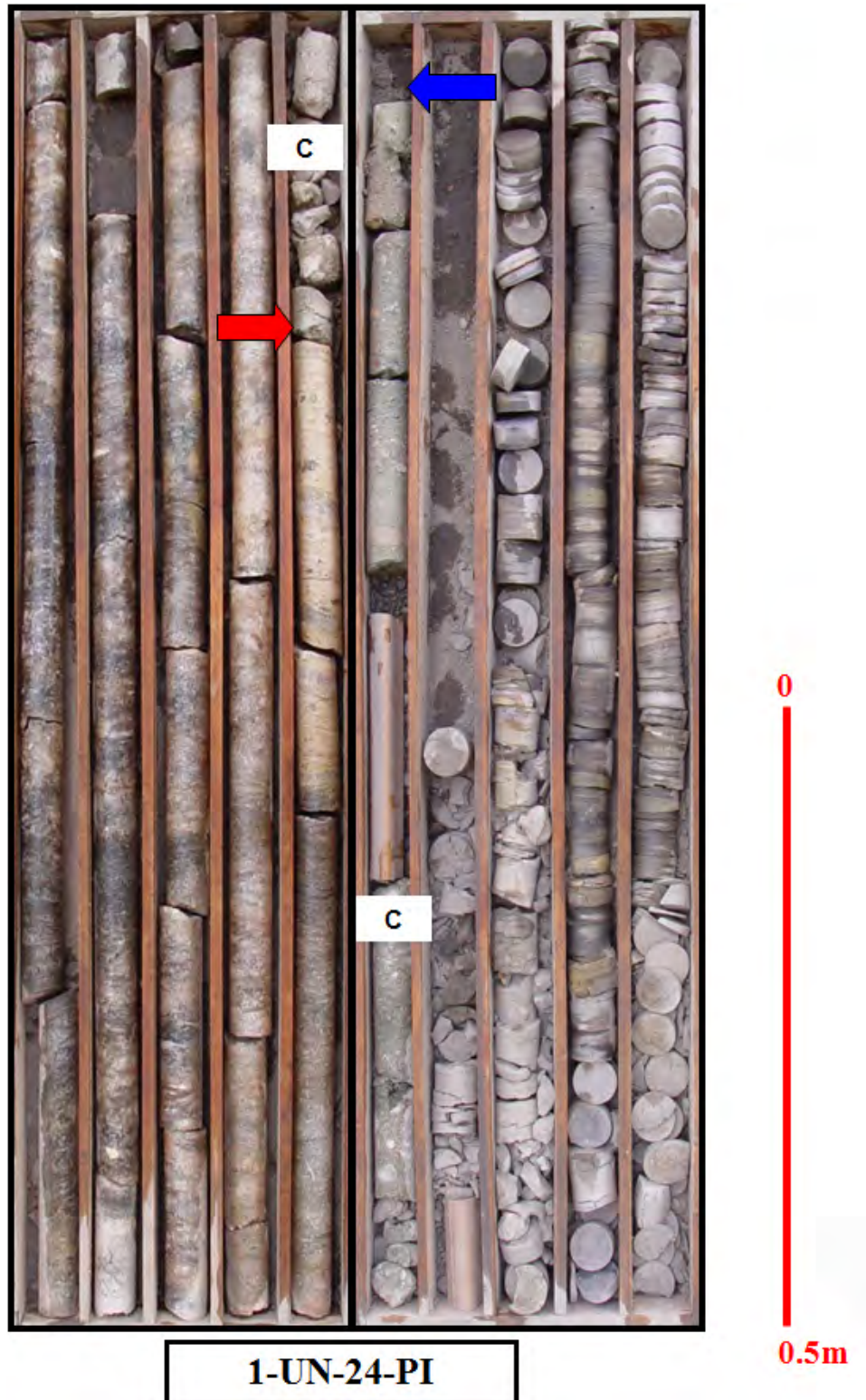
## ESTAMPA XV

Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 3 (SF3) no poço 1-UN-24-PI, caixas 19 e 20. A seta vermelha marca a base da sucessão e a azul, o topo. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).



## ESTAMPA XVI

Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 4 (SF4) no poço 1-UN-24-PI, caixas 18 e 19. A seta vermelha marca a base da sucessão e a superfície discordante (LS), enquanto que a azul marca o topo e a superfície transgressiva (ST). (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).



#### 5.2.5 SUCESSÃO DE FÁCIES 5 (SF5) – lacustre central

*Diagnose.* – Sucessão autoreflexiva de camadas Fp (Estampa XVII, anexos A e B).

*Interpretação.* – Os folhelhos desta sucessão depositaram-se em um amplo lago de águas continentais com variação da salinidade, que favoreceu o desenvolvimento de uma fauna de ostracodes e gastrópodes, estes com epíbole no topo da sucessão (Figura 5.1).

*Discussão.* – A SF5 pode ser observada na profundidade de 115–138,5 m do poço 1-UN-24-PI, totalizando 23,5 m; e de 88–112 m do poço 1-UN-32-PI, totalizando 24 m.

O sistema lacustre tem seu clímax de expressão e máximo de profundidade de lâmina d'água representado pela expressiva sucessão de camadas da fácies Fp, devido ao aumento do aporte de água no paleoambiente.

#### 5.2.6 SUCESSÃO DE FÁCIES 6 (SF6) – lacustre marginal

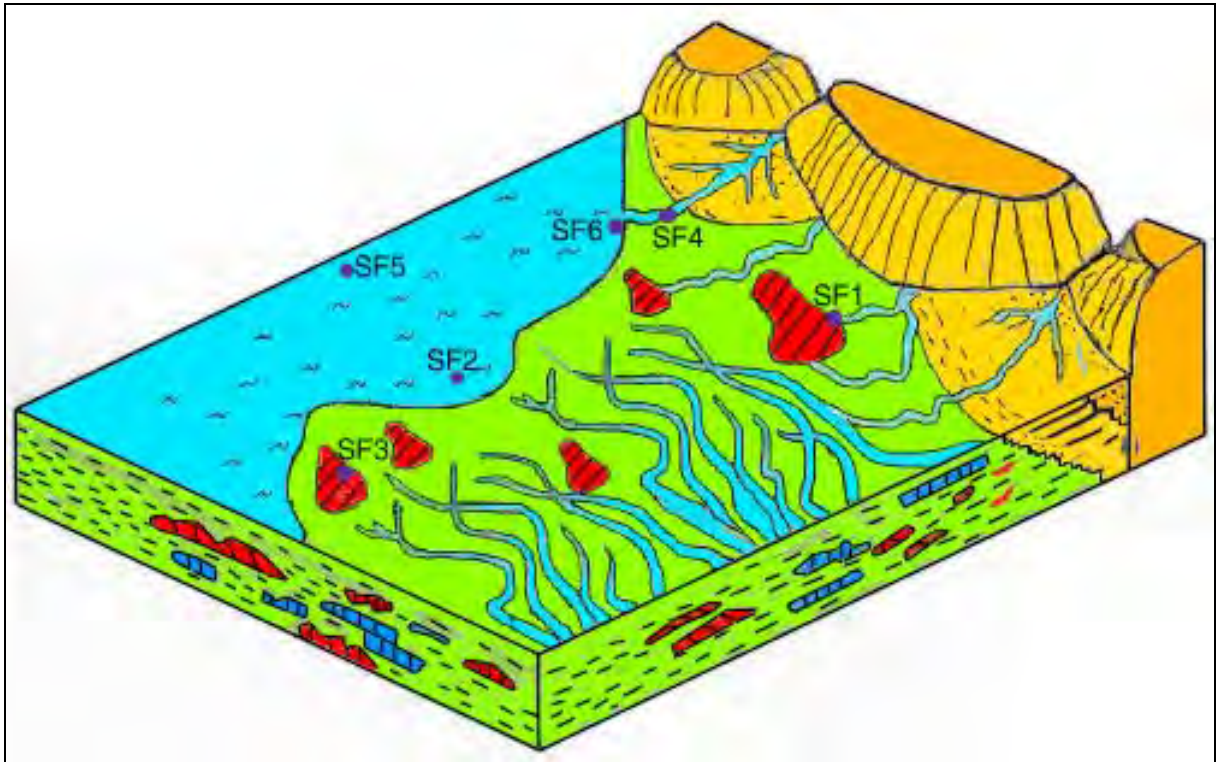
*Diagnose.* – Sucessão das fácies Ac–Ac(c)–Ao–Sc–Fp em ciclos de afinamento granulométrico (Estampa XVIII, anexos A e B).

*Interpretação.* – Um ciclo desta sucessão mostra a passagem de um ambiente fluvial (fácies Ac e Ac(c)) para um lacustre marginal de pequena lâmina d'água ou subexposto (fácies Ac(c), Ao e Sc) para um ambiente mais fundo e subóxico–óxico (fácies Fe). A sobreposição desses ciclos, tal como na SF1, é interpretado como resultante de eventos de regressão forçada seguida de afogamento em um sistema lacustre, porém não hipersalino (Figura 5.1).

*Discussão.* – A SF6 ocorre nas profundidades de 63–82,2 m do poço 1-UN-32-PI e 101,3–114,8 m do poço 1-UN-24-PI. Nesta situação a fácies Fp é conspícua, denotando um contexto paleoambiental lacustre redutor a moderadamente redutor. Cada ciclo de fácies, neste contexto estratigráfico, apresenta espessuras médias da ordem de 2,6 m (0,5–2 m). O intervalo desta sucessão de fácies, que totaliza em média 16,4 m, apresenta um padrão de engrossamento granulométrico no seu topo, denotando um caráter regressivo do paleolago. Esta fase regressiva resulta no assoreamento do paleolago por fácies marginais (costeiras?) e passagem para um



paleoambiente considerado de planície de inundação em um sistema fluvial meandrante por Pessoa (2005). Assim, a SF6, neste intervalo de topo, está estratigraficamente abaixo do contato litoestratigráfico com a Formação Itapecuru.



**Figura 5.1.** Bloco diagrama representativo do ambiente deposicional da Formação Codó (modificado de Batista, 1992), mostrando a contextualização dos poços descritos neste trabalho em relação às sucessões de fácies (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5 e SF6).



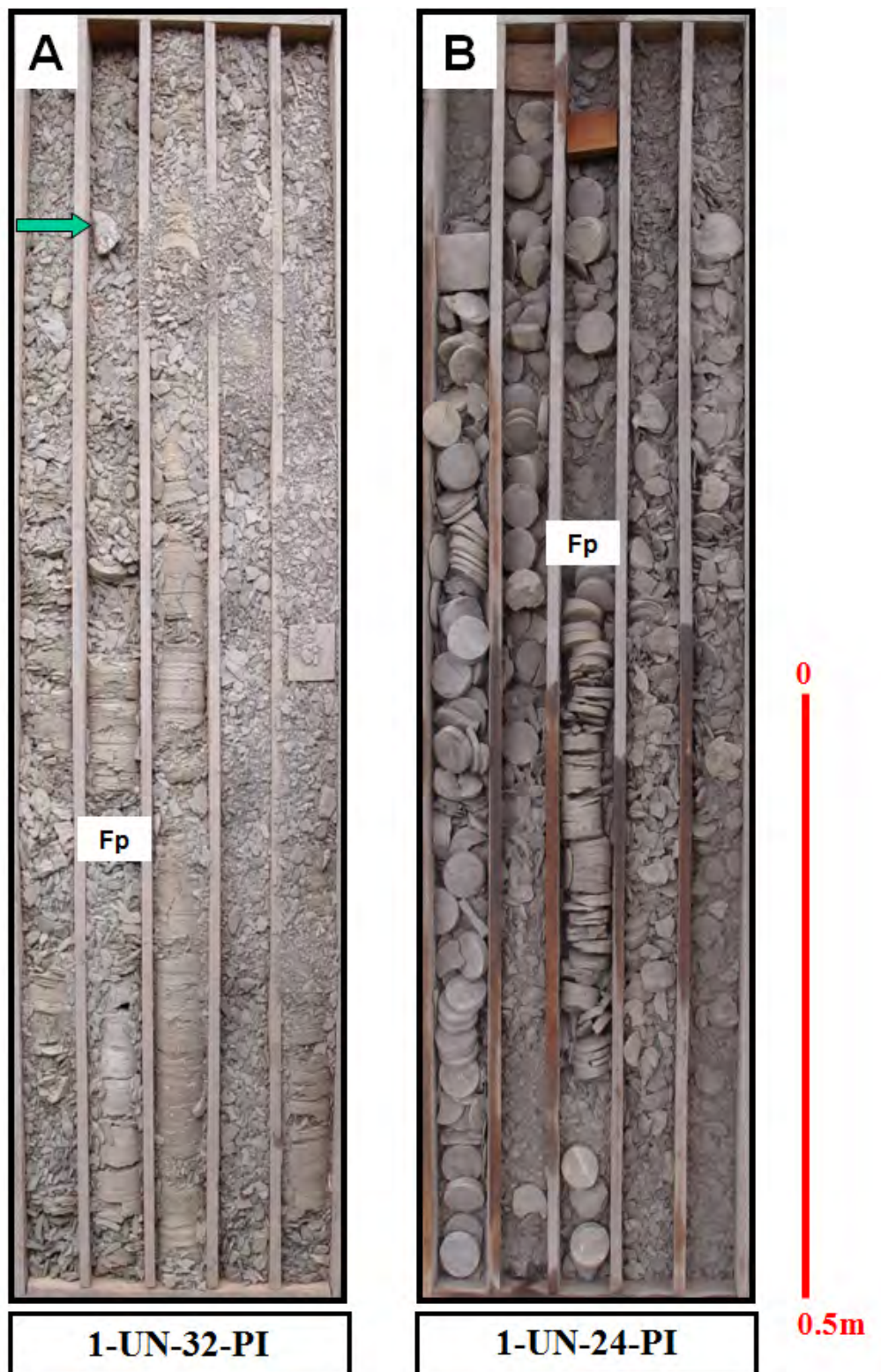
**Figura 5.2.** Análogo recente localizado no golfo do México (Martin Miler, University of Oregon).



## ESTAMPA XVII

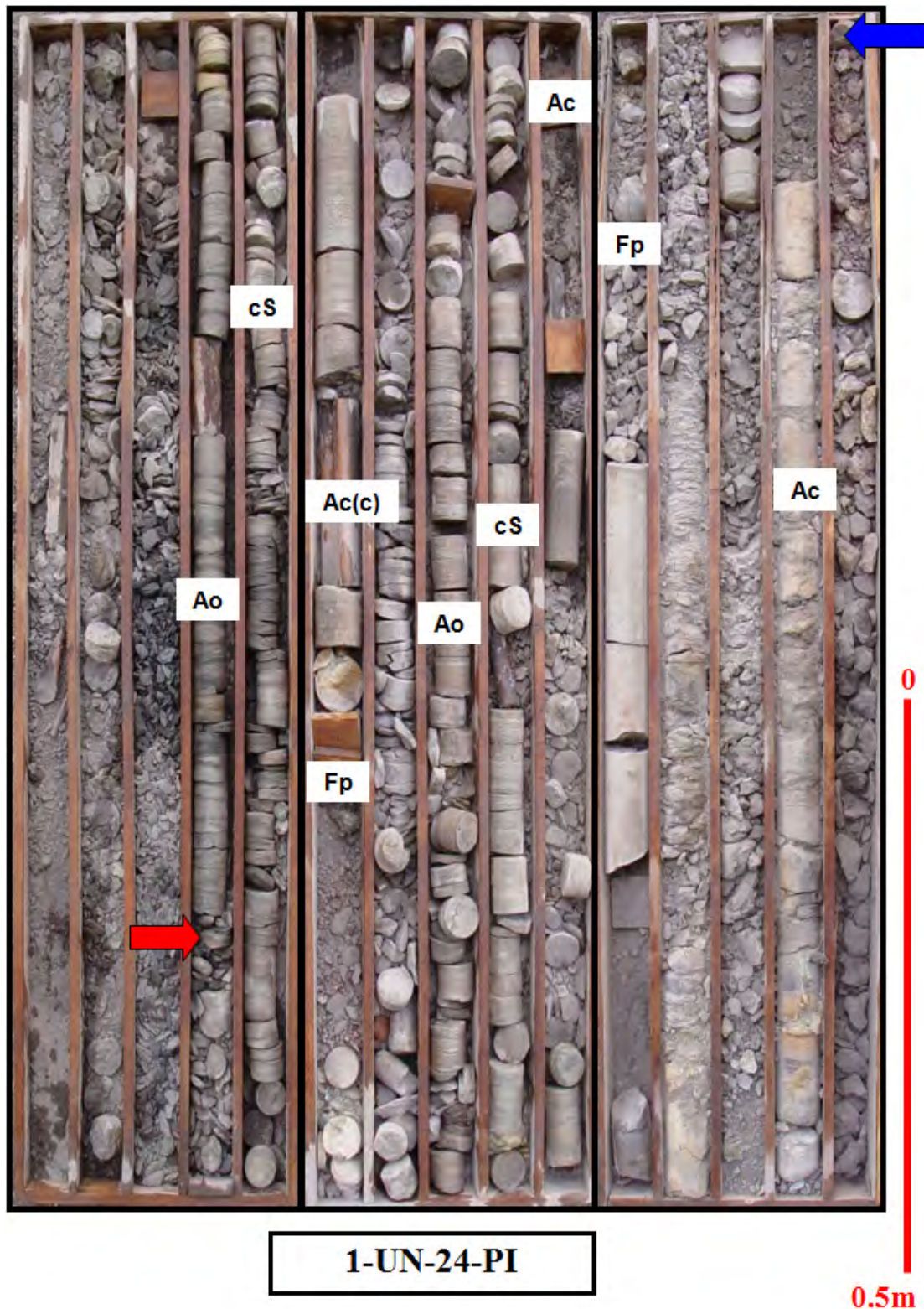
Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 5 (SF5) no poço 1-UN-32-PI, caixa 14. A seta verde identifica o nível de concentração de Gastrópodes. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).

Figura B - Aspecto da sucessão de fácies 5 (SF5) no poço 1-UN-24-PI, caixa 17. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).



## ESTAMPA XVIII

Figura A - Aspecto da sucessão de fácies 6 (SF6) no poço 1-UN-24-PI, caixas 13,14 e 15. A seta vermelha marca a base da sucessão e a azul o topo e o limite entre as Formações Codó e Itapecuru. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).





## 6 ANÁLISE GEOLÓGICA

### 6.1 Superfícies estratigráficas

Na correlação dos poços 1-UN-24-PI e 1-UN-32-PI foram reconhecidas três superfícies estratigráficas de natureza genética, interpretadas como superfícies discordante, transgressiva e de inundação. Uma outra superfície é de natureza litoestratigráfica formal, que delimita o contato da Formação Codó com a Formação Itapecuru (sobrepota). (O contato com a Formação Grajaú, sotopota, encontra-se um pouco abaixo do intervalo de rochas estudado.)

*Superfície discordante (SD)* – Esta superfície foi observada nas profundidades de 141,1 m do poço 1-UN-24-PI (Anexo A) e de 117 m do poço 1-UN-32-PI (Anexo B). Caracteriza-se por um contato brusco na base da SF4, sobre a SF3.

O aumento brusco da radioatividade, registrada nos perfis de raios-gama, mais notavelmente no poço 1-UN-32-PI, também marca esta superfície. No poço 1-UN-24-PI, é menos evidente no perfil de raio gama.

A SD é correlacionada entre os poços e interpretada como um limite de seqüência (LS), provavelmente de origem tectônica (Estampas XVI e XX). Esta hipótese é corroborada pelo aspecto petrogenético da fácies C, que denota, além do incremento brusco e discreto de energia, no intervalo estudado, uma fonte diversificada, em comparação com os arenitos sotopostos, e a inclusão de fragmentos das fácies de arenito e das fácies cL e G. Para que tais líticos sedimentares fossem incorporados à fácies C, supõe-se um grande rebaixamento do nível de base do paleoambiente lacustre, causado não apenas pela queda do nível do paleolago.

Tal superfície não é relatada na literatura na Formação Codó, e permite a sua separação em duas seqüências deposicionais. A seqüência inferior (Seq1) envolve a SF1, SF2 e SF3, enquanto que a superior (Seq2), a SF4, SF5 e SF6.

É interessante notar que Moura (2005) identificou uma superfície discordante em situação faciológica análoga na Formação Santana (Aptiano–Albiano), na bacia do Araripe

*Superfície transgressiva (ST)* – Esta superfície é observada nas profundidades de 139 m do poço 1-UN-24-PI (Anexo A) e de 112 do poço 1-UN-32-PI (Anexo B).

Esta superfície é registrada pela passagem brusca da SF4 para SF5, evidenciando o afogamento lacustre, súbito, de um sistema fluvial (Estampa XVI). Esta mudança de ambiente deposicional é confirmada pelo aumento do valor de raios-gama em perfil, evidente em ambos os poços estudados.

*Superfície de inundação máxima (SIM)* – Esta superfície foi identificada em dois horizontes de ambos os poços estudados, nas sucessões de fácies SF5 e SF2 (Estampas XIX e XX).

Sua ocorrência pode ser afirmada com precisão na SF5, pelo aumento da radioatividade nas profundidades de 135 m do poço 1-UN-24-PI (Anexo A) e 107 m do poço 1-UN-32-PI (Anexo B).

Na intervalo basal de ambos os poços, intervalo da SF2, sua assinatura geofísica não se mostra tão evidente dificultando o estabelecimento preciso da SIM. Em vista desta dificuldade esta superfície foi inferida com base na análise estratigráfica, sendo posicionada nas profundidades de 164,5 m no poço 1-UN-24-PI e de 144 m no poço 1-UN-32-PI.

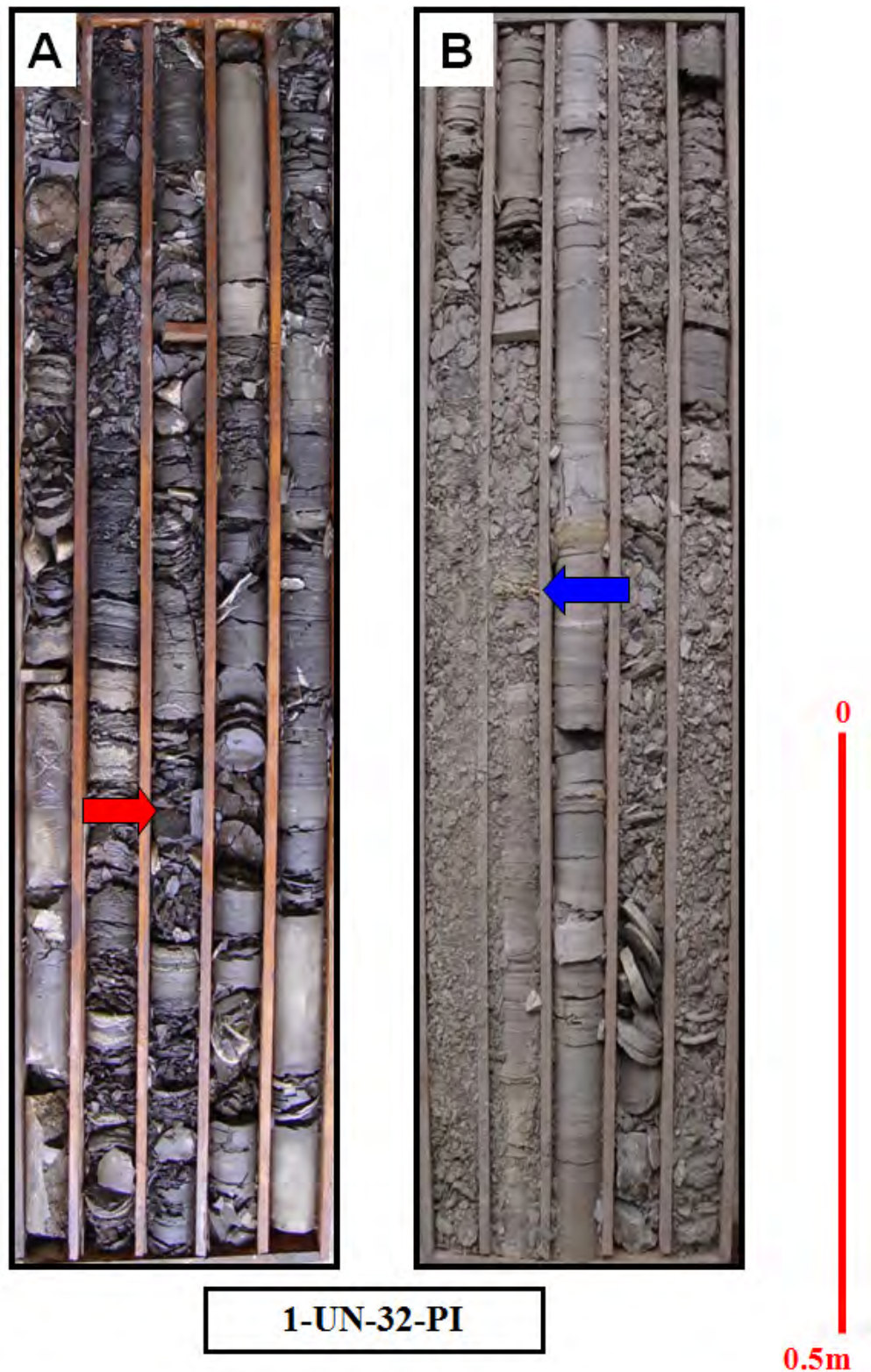
*Superfície de contato com a Formação Itapecuru.* – Este limite foi posicionado nos dois poços descritos, na profundidade 100,5 m do 1-UN-24-PI (Anexo A) e de 64,8 m no poço 1-UN-32-PI (Anexo B). Marca o contato entre as formações Codó e Itapecuru, podendo ser considerada concordante gradacional (Estampa XVIII).

O critério para o reconhecimento da superfície que evidencia o contato foi a mudança de cor, de cinza (Fm. Codó) para vermelho (Fm. Itapecuru) das fácies lutíticas, denotando a passagem de um ambiente redutor (Fm. Codó) para um oxidante (Fm. Itapecuru). Esta mudança é interpretada neste trabalho não como uma mudança climática, mas como uma passagem gradual de um ambiente lacustre anóxico (Fm. Codó), para o ambiente fluvial oxidante.

## ESTAMPA XIX

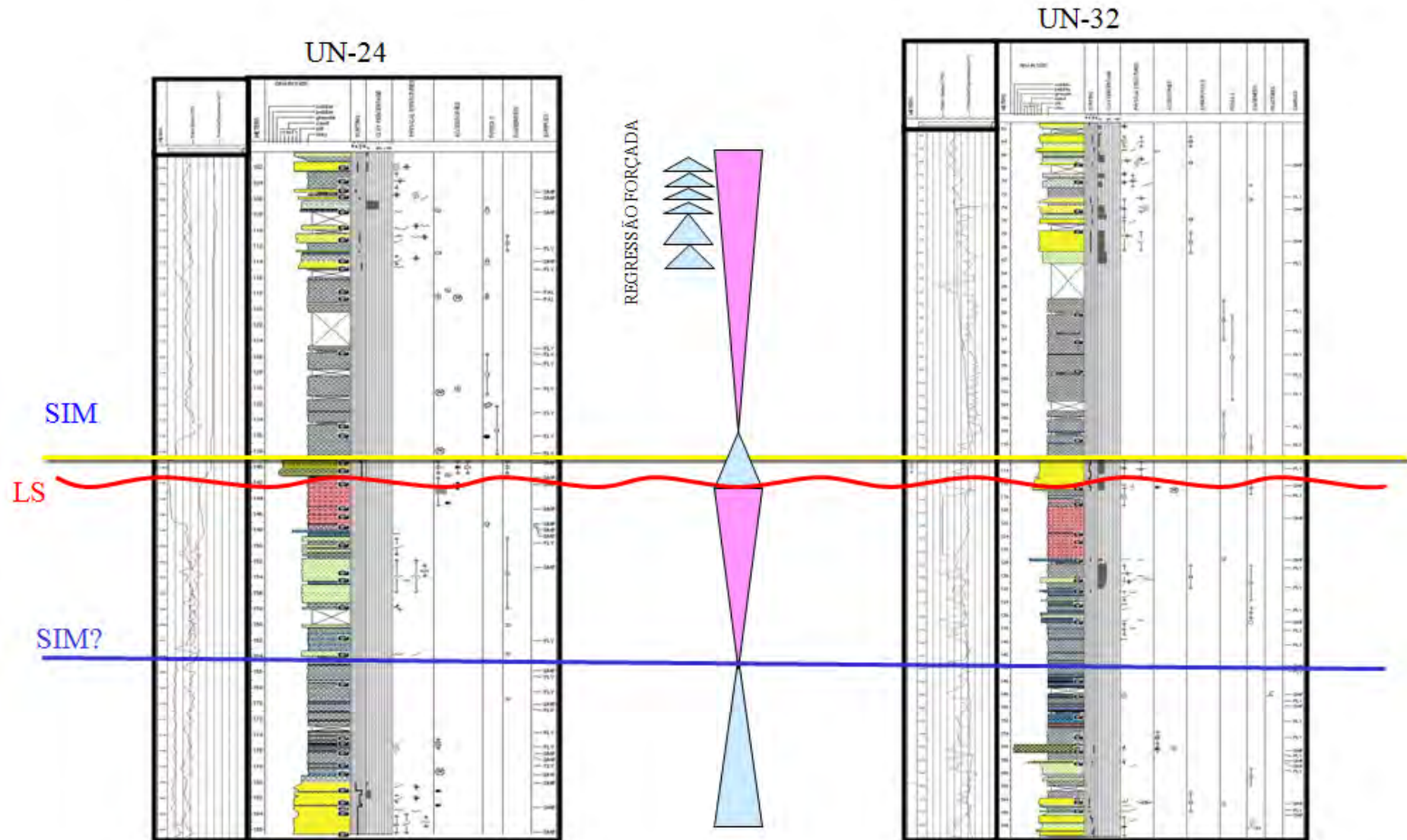
Figura A – Superfície de inundação máxima (SIM) no poço 1-UN-32-PI. A seta vermelha marca a SIM na base do poço, na profundidade de 143,50 m. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).

Figura B – Superfície de inundação máxima (SIM) no poço 1-UN-32-PI. A seta azul marca a SIM no topo do base do poço, na profundidade de 107,00 m. (O topo estratigráfico localiza-se no topo das caixas posicionados a direita; comprimento vertical de 1 metro).



## ESTAMPA XX

Figura A – Para a correlação entre os poços, a superfície transgressiva (ST) foi utilizada como datum. Foram identificadas duas superfícies de inundação máxima (SIM), uma na base e outra no topo dos poços estudados, entre tais superfícies foi reconhecida uma superfície discordante que foi atribuída a um limite de sequências (LS). Podemos identificar ciclos transgressivos e regressivos que se alternam até o topo, onde é possível identificar uma regressão forçada marcada pelos pequenos pulsos transgressivos que se repetem.



## 6.2 Sistemas petrolíferos

### 6.2.1 GERADORES POTENCIAIS

Buscou-se identificar, do ponto de vista faciológico, a sucessão que melhor se adequaria às condições esperadas de um intervalo potencialmente gerador.

A SF2 apresenta um caráter betuminoso, pela preservação da matéria orgânica, resultante de condições de anoxia existente na deposição dos sedimentos. Embora este intervalo possua matéria orgânica em quantidade e composição adequada para geração de hidrocarbonetos, como já foi relatada na literatura (Rodrigues, 1995), a baixa evolução térmica parece não permitir que Formação Codó possa ser efetivamente geradora de hidrocarbonatos na bacia do Parnaíba.

A SF5, apesar de ser uma sucessão exclusivamente pelítica, apresenta um caráter mais oxidante, onde o desenvolvimento biológico foi favorecido pelas características de baixa salinidade, o que corroboraria na menor preservação da matéria orgânica depositada.

Possivelmente, a contextualização das duas sucessões de fácies envolvidas (SF2 e SF5) em seqüências deposicionais distintas (Seq1 e Seq2) pode explicar a diferença de paleoambientes lacustres em termos geoquímicos.

### 6.2.2 RESERVATÓRIOS POTENCIAIS

Intervalos representados pelas sucessões de fácies macroclásticas (SF1, SF4 e SF6) podem ser analisados como potenciais reservatórios.

A SF1 e SF4 estão aparentemente seladas por rochas microclásticas (SF2 e SF5). Dessas, a SF1 guarda melhores características de rocha reservatório, apesar do alto grau de heterogeneidade faciológica observada no poço 1-UN-32-PI e pequena espessura. Já a SF4, além da pequena espessura, tem porosidade muito reduzida pela diagênese.

A SF6 não apresenta selante, passando gradacionalmente para a Formação Itapecuru. Esta sucessão de fácies apresenta baixa relação arenito:folhelho, o que dá aspecto compartimentado a um reservatório, além de apresentar porosidade reduzida pela diagênese por cimentação carbonática.

## 7 CONCLUSÃO

Foi possível reconhecer o sistema lacustre com base na análise faciológica como é relatado na bibliografia.

A atividade tectônica na bacia durante a deposição dos sedimentos da Formação Codó (Aptiano/Albiano), é comprovada com base na análise de estruturas deformacionais identificadas, inseridas em um contexto tectono-sedimentar como relatado por Góes & Rossetti (2001). Tal instabilidade também é marcada por uma discordância erosiva que separa as sucessões sedimentares em duas seqüências deposicionais distintas, Seq1 e Seq2.

O sistema petrolífero proposto para o intervalo estudado se apresenta bastante heterogêneo em termos arquiteturais. A seção localizada acima da discordância (Seq2), apesar de possuir maior potencial reservatório por conta da maior freqüência de rochas macroclásticas, não correspondeu as expectativas na caracterização de reservatórios. Além de aspectos como o de porosidade, cimentação e permeabilidade, a Seq2 não apresenta bom potencial de geração, visto que toda a sucessão de rochas microclásticas ( fácies Fp) não apresenta matéria orgânica com bom grau de preservação dado as condições oxidante nas quais o intervalo foi submetida.

O intervalo analisado abaixo da discordância (Seq1), apresentou melhores condições para a constituição de um sistema petrolífero, por possuir uma sucessão potencialmente geradora (SF2), com boa preservação da matéria orgânica em quantidade e composição adequada à geração de hidrocarbonetos. Além disto, apresenta acima do intervalo gerador, um selante de excelente qualidade composta por rochas microclásticas e evaporíticas (SF3), enquanto que abaixo, apresenta uma sucessão de rochas macroclásticas de melhores condições ao armazenamento de hidrocarbonetos SF1, com maiores valores de permeabilidade e porosidade constatados, além de obter um grau de cimentação melhor.



## 8 BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, G.A., 1969. Bacia do Maranhão: Geologia e possibilidades de Petróleo. Belém, PETROBRÁS. Rel. Interno.
- ALBUQUERQUE, O. R. & Dequech, V., 1946. Contribuição para a geologia do Meio-Norte, especialmente Piauí e Maranhão, Brasil. In: Congresso Pan-Americano de Engenharia de Minas e Geologia. Petrópolis. Anais, v.3, p 69-109.
- ANP, 2002. Agência Nacional do Petróleo. Disponível em <[http://www.brasilrounds.gov.br/round4/atividades\\_exploratorias/cartas/ce\\_parnaiba.pdf](http://www.brasilrounds.gov.br/round4/atividades_exploratorias/cartas/ce_parnaiba.pdf)>
- ARANHA, L.G.F.; Lima, H.P.; Souza, J.M.P.; Makino, R.K., (1990) *Origem e evolução das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova*. IN: Raja Gabaglia, G.P. & MILANI, E. J. (EDS) *Origem e Evolução das bacias sedimentares*. Rio de Janeiro, Petrobrás. P. 221-232
- ARAÚJO, M.B., 2003. *Plano Decenal – ANP. Planejamento das atividades de estudos geológicos e geofísicos nas bacias sedimentares brasileiras visando a exploração de petróleo e gás natural*. Rio de Janeiro, ANP, disponível em <[http://www.brazil-rounds.gov.br/round5/apres\\_semtec/r5\\_plano\\_decenal.pdf](http://www.brazil-rounds.gov.br/round5/apres_semtec/r5_plano_decenal.pdf)> (acessado em 30.9.2003).
- AZEVEDO, R.P., 1991. Tectonic Evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins. London, royal School of Mines Imperial College, 412 p. Tese de Doutorado.
- CAMPBELL, D. F., 1949. Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin. Rio de Janeiro, CNP. Rel. Interno.
- CAPUTO, M.V. & Lima, E.C., 1984. Estratigrafia, Idade e Correlação do Grupo Serra Grande. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Rio de Janeiro, SBG.V.2.
- CARNEIRO, R. G., (1974). Mapeamento estrutural da área de Grajaú- Imperatriz. Belém, PETROBRÁS,. Relatório Técnico 358, 1974. 45p.
- CAROZZI, V. C., Falkenhein, F. U. H., Carneiro, R. G., Esteves, F. R., Contreiras, C. J. A., 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluroeocarbonífera da bacia do Maranhão. Petrobrás, Rio de Janeiro. 2v. (Ciência – Técnica – Petróleo, Seção Exploração de Petróleo, 7)
- CPRM, 1978. *Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba*, DNPM - CPRM Departamento Nacional da Produção Mineral - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 5v. (Relatório Interno).

- CRUZ W. B., Lima E. A. M., Leite J. F., Quinho J. S., Angelim L. A. A., Vale P. A. B. R. 1973. Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba. Relatório final da 1º etapa. Recife, DNPM/CPRM, 58p. (relatório interno).
- CUNHA, F. M. B. da , CARNEIRO, R. G., (1972). Interpretação fotogeológica do centro-oeste da bacia do Maranhão. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 26, 1972, Belém,. *Anais...*, São Paulo, SBG, 1972., v.3, p. 65-79
- CUNHA, F.M.B., 1986. Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Rio de Janeiro, UFRJ. Dissertação de Mestrado.
- DAEMON, R.F., 1974. Palinomorfos-guia do Devoniano Superior e Carbonífero Inferior das bacias Amazonas e Parnaíba. *Anais Acad. Brás. Ciências*, v.46, n3/4, p.549-587.
- DELLA FÁVERA, J. C. – Reconhecimento de novas fácies e ambientes deposicionais na Bacia do Parnaíba. *Anais do XXXI Congr. Bras. de Geologia*, Camboriú, Seção de Breves Comunicações, 1980.
- DELLA Fávera, J.C., 1990. Tempestitos da Bacia do Parnaíba. Porto Alegre, UFRGS. Tese de Doutorado.
- FORMAN, J.M.A., 2002. *Plano Decenal de Estudos e Serviços de Plano Decenal de estudos e Serviços de Geologia e Geofísica Aplicados à Geologia e Geofísica Aplicados à Prospecção de Petróleo e Gás Natural. Prioridades 2002*. Rio de Janeiro, ANP, disponível em <<http://www.anp.gov.br/palestras/planodecenal.pdf>> (acessado em 30.9.2003).
- FREITAS, E. L. de. 1990. Análise estratigráfica da seqüência devoniana aflorante na Bacia do Parnaíba entre as cidades de Picos e Oeiras (PI). Ouro Preto. 176p. (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto).
- GÓES, A. M. O.; SOUZA, J. M. P.; TEIXEIRA, L. B. (1990). Estágio explorativo e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.4, n. 1, p.57-67.
- GÓES, A.M.O, Souza, J.M.P. & Teixeira, L. B., 1990. Estágio Exploratório e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Parnaíba. *In: Boletim de geociências PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 4(1):55-64, Jan./mar.1990.
- GÓES, A. M. O.; FEIJÓ J. F. (1994). Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, Vol. 8 n. 1, p. 55-64.
- GÓES, A.M.O, Souza & Feijó, F.J., 1994. Bacia do Parnaíba. *In: Boletim de geociências PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 8(1):57-67, Jan./mar.1994.
- GÓES, A. M. 1995. *A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba*. São Paulo, 171 p. Tese de Doutorado.

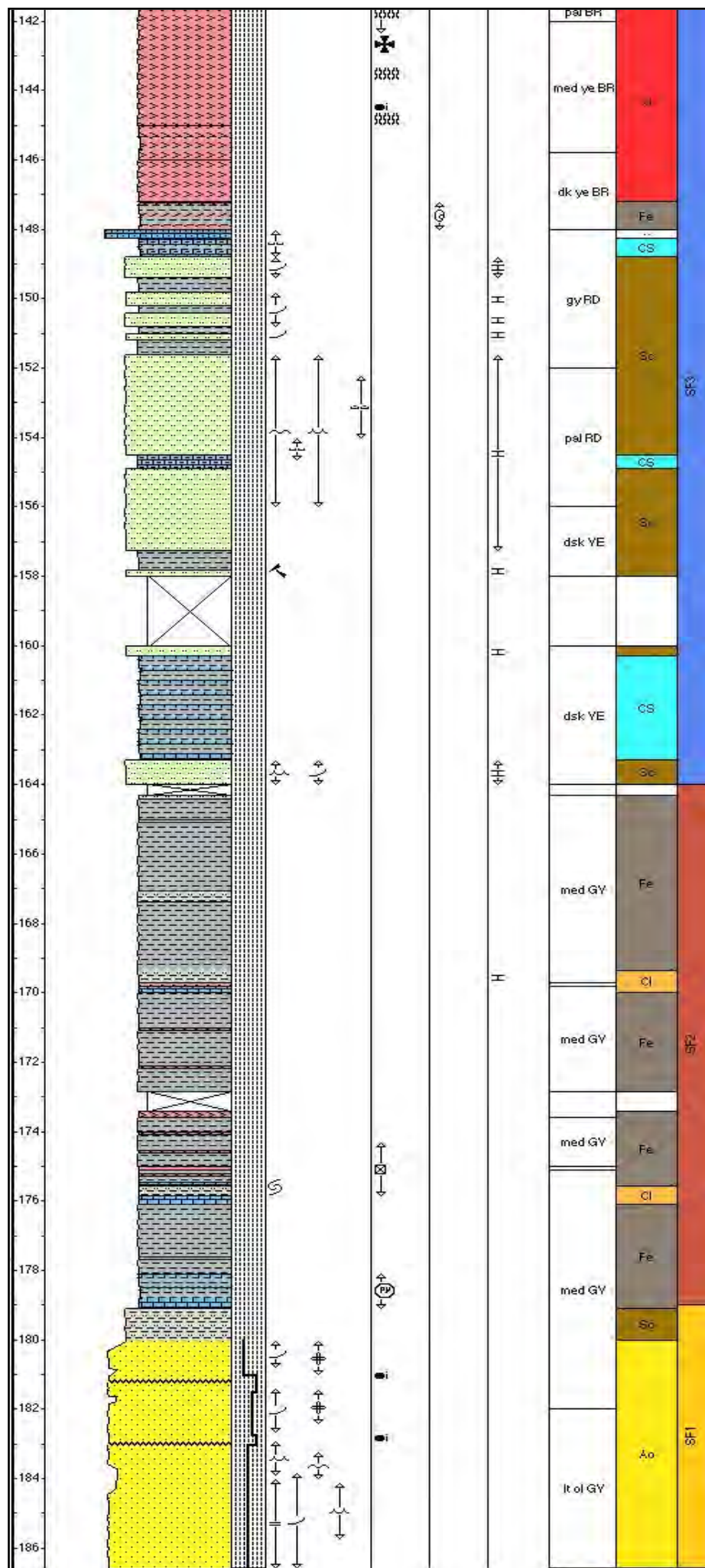
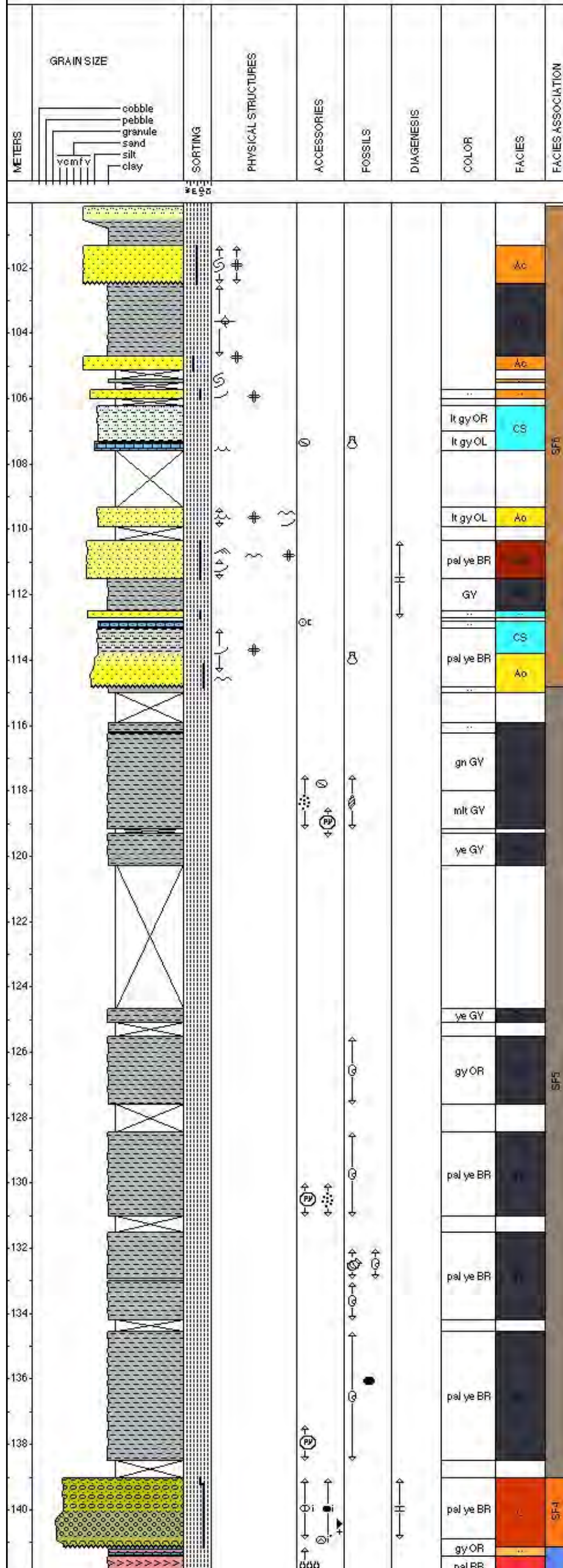
- GÓES, A. M. & COIMBRA, A. M. 1996. Bacias sedimentares da Província Sedimentar do Meio Norte do Brasil. SÍMPOSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5. Resumos. Belém: 186-187
- GÓES, A.M., Rossetti, D.F., Coimbra, A. M., 1999. A Bacia do Grajaú, Estado do Maranhão, Brasil. *In: Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 1999.
- KEGEL, W., 1953. Contribuição para o estudo do Devoniano na Bacia do Parnaíba. Rio de Janeiro, Bol. Div. Geol. Min. DNPM, n 141, 48p.
- KEGEL, W., (1956). Relatório da Seção de Geologia. In: RELATÓRIO ANUAL DO DIRETOR, 1955. Div. Geol. Mineral., Rio de Janeiro, p. 34-38
- KLEIN, V.C. & Ferreira, C.S., 1979. Paleontologia e Estratigrafia de uma fácies estuarina da Formação Itapecuru, Estado do Maranhão. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 51(3):523-533.
- LIMA, E. de A. M., LEITE, J. F., (1978). Projeto estudo global dos recursos Minerais da bacia sedimentar do Parnaíba. Integração geológico-metalogenética. Relatório final, Etapa III, Recife. DNPM – CPRM, 16 v.
- LIMA, M. R., FULFARO, V. J., BARTORELLI, A., (1980). Análise palinológica de sedimentos cretáceos da região de Marabá, estado do Pará. *B. Inst. Geoc., USP*, São Paulo, n.11, p. 149-154.
- LIMA, M. R. de, (1982). Palinologia da Formação Codó, Maranhão. *B. Inst. Geoc., USP*, São Paulo, n. 13, p. 116-128.
- LIMA, F.F.P, 1991. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba. São Paulo, USP. Dissertação de Mestrado.
- LISBOA. M.A.R., 1914. The Permian geology of Northern Brazil. New Haven, Am. Jour. Of Sci. Ser. 4, v. XXXVII, n 221.
- MESNER, J. C. & WOOLDRIDGE, L. C. – Estratigrafia das bacias paleozóica e cretácea do Maranhão. Bol. Tec. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 7 (2): 137-164, abr/jun, 1964.
- MINOURA, K. & NAKAYA, S. 1991. Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: Some examples from Northeast Japan. *J. Geol.*, 99: 265-287.
- PAIVA, G., 1937. Estratigrafia da sondagem n 125. Rio de Janeiro, Bol. Serv. Fom. Prod. Min. DNPM. n 18, p107.
- PLUMMER, F.D., 1946. Geossinclíneo do Parnaíba . In: Conselho Nacional de Petróleo, Relatório de 1946. Rio de Janeiro.

- RESENDE, W. M. de, PAMPLONA, H. R. P., (1970). Estudo do desenvolvimento do Arco Ferrer-Urbano Santos. *B. Tec. Petrobrás*. Rio de Janeiro, v.13, n. ½, p. 5-14, jan/jun. 1970.
- RODRIGUES, R., 1967. Estudo sedimentológico e estratigráfico de depósitos silurianos e devonianos da Bacia do Parnaíba. Belém, PETROBRAS. Rel. Interno.
- REDRIGUES, T. L. Das N., FAVILLA, C. A. C., CAMOZZATTO, E., VERISSIMO, L. S., (Org.) (1994). Programa Levantamento Geológico Básico do Brasil. projeto Especial mapas de recursos minerais de solos e de vegetação para a área do programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais. Folha Bacabal. SB. 23-X-A, estado do Maranhão, escala 1:250.000, Brasília, CPRM, 124p.
- SANTOS, M.E.C.M., 1998. *Reconstituições Paleobiológicas nas Bacias do Parnaíba e de São Luís*, Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, UFRJ. Tese de Doutorado.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E., (Coord.), (1984). *Geologia do Brasil*. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais; escala 1: 2.500.000. Brasília, DNPM, 501p.
- SCHOBENHAUS, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmu, H.E., 1981. Mapa Geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais; escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, 501 p.
- SMALL, H.L., 1914. Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará. Rio de Janeiro, inspetoria Federal de Obras contra as secas, Série 1-D, publ.32, 14.
- SMALL, H. L., (1914). Geologia e supprimento d'água subterrânea e no Piauhy e parte do Ceara. Brasil, Insp. Obr. Contra Seccas, Rio de Janeiro, ser.I, D, 32, 146p.
- YOUNG, C. G.K., 2003. Contribuição à análise estratigráfica da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba): Caracterização de um potencial intervalo de rochas-reservatório. Rio de janeiro, Instituto de Geociências – UFRJ, B.Sc., Curso de Graduação em Geologia, 2003.
- ZALÁN, P.V., 1991. Influence of Pré-Andean Orogenies on the Paleozoic intracratonic Basins of South América. In: Simposio Bolivariano, 4.Bogota. Memorias, Tomo I, Trabajo 7.



# Codo - 1-UN-24

Date Logged: July 20, 2020  
 Logged by: Bacia do Grajau - PARNAIBA  
 Ground: 0.00 m KB: 0.00 m  
 Remarks:



## LEGEND

LITHOLOGY			
SANDSTONE	argill. siltst.	CONGLOMERATE	Gypsum
silty sandst.	CLAY/MUDSTONE/S.	LIMESTONE	argill. limestone
SILTSTONE	silty clayst.	sandy limestone	Lost Core
sandy siltst.	sandy congl.		
CONTACTS			
Sharp	Scoured		
PHYSICAL STRUCTURES			
ro oscillation/wave ripple	rol climbing current ripple	lp parallel lamination	
wf flaser lamination	dc contortion, convolution	vom mud crack	
lo carbonaceous (organic)	w wavy lamination	mb structureless due to bioturbation	
vc crack, general	vob brecciated fabric		
LITHOLOGIC ACCESSORIES			
fibroso	oncolite intraclast	pseudomorfo de halita	
Ggc calcareous ooid	Gien anhydrite intraclast	Gill limestone intraclast	
Gim mudstone intraclast	Gis sandstone intraclast	grao de pirita	
roseta	pintas de enxofre		
FOSSILS			
Fmg Gastropods	Fmp Paleocypods	Fko Ostracods	
Chc Conchostraceo	Cpt Coprolite		
DIAGENESIS			
Amca calcite cement			



